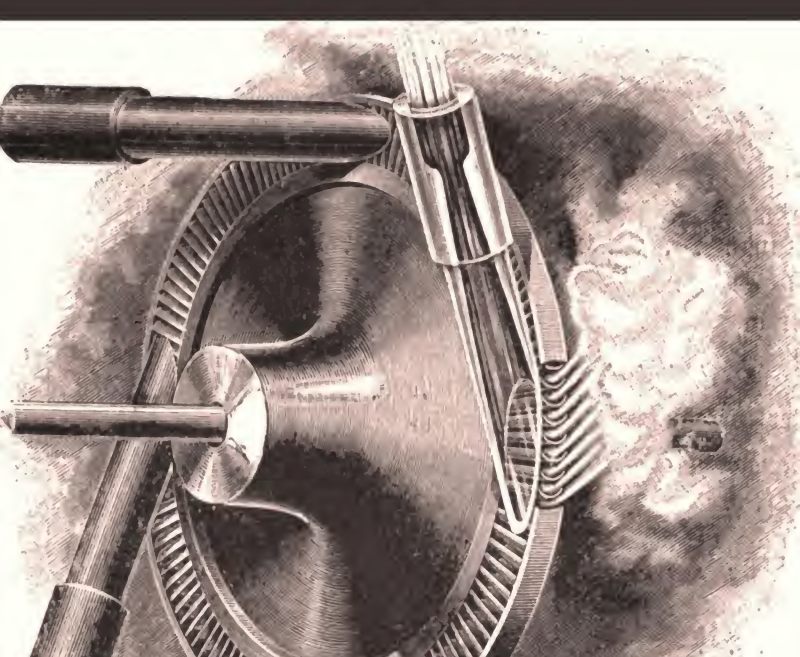
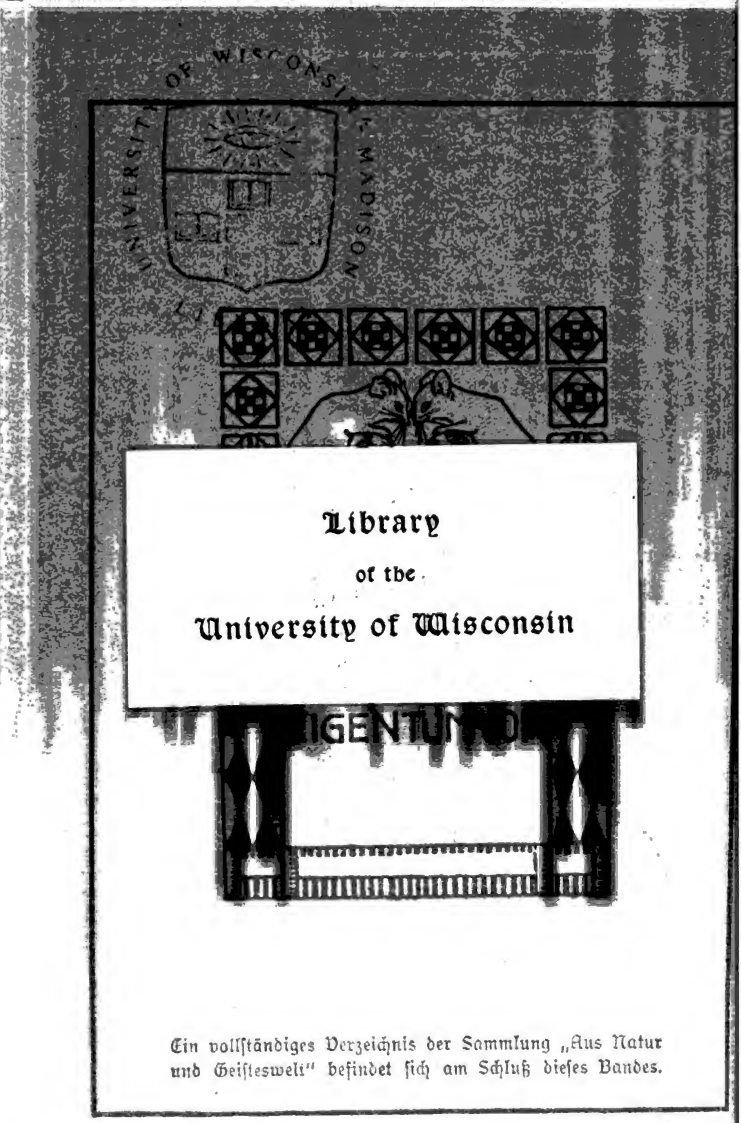


Die lehre von der wärme

Richard Börnstein

Digitized by Google



Ein vollständiges Verzeichnis der Sammlung „Aus Natur und Geisteswelt" befindet sich am Schluß dieses Bandes.

N 500 : 207.

Digitized by Google

[illegible] die Kraft [illegible]erischer Wir-
[illegible] wird. Endlich einmal
[illegible] kann."
[illegible] in der „Hilfe".)

[illegible] mit ca. 130 farbigen Abbildungen unentgeltlich und postfrei vom Verlag.

Digitized by Google

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig.

Künstlerischer Wandschmuck

für Haus und Schule. Farbige Künstlersteinzeichnungen

Größere Blätter: Bildgröße 100×70 cm und 75×55 cm ℳ 5.— und ℳ 6.—

Erschienen sind ca. 75 Blätter, darunter:

Bantzer, Abend.
Bergmann, Seerosen.
Biese, Hünengrab — Im Stahlwerk b. Krupp.
Conz, Schwarzwaldtanne.
Dettmann, Vulkanwerft bei Stettin.
Du Bois-Reymond, Akt. Landsch. (Akropolis).
Eichrodt, Droben stehet die Kapelle.
Eisenlohr, Krähen im Schnee.
Genzmer, Volkslied.
Georgi, Ernte — Pflügender Bauer.
Heder, Am Meeresstrand.
Hein, Im Wasgenwald — Am Webstuhl.
Hoh, Fischerboote — Gletscher — Kiefern.
Kampmann, Mondaufgang.
Kampmann, Abendrot — Herbstabend.
Kanoldt, Eichen.
Leiber, Sonntagsstille.
Liner, Abendfrieden.
Matthaei, Nordseeidyll.
Munsheid, Winternacht.
Orlik, Rübezahl — Hänsel und Gretel.
Otto, Christus u. Nikodem. Maria u. Martha.
Pacyna, Reigen.
Roman, Paestum — Röm. Campagna.
Schacht, Einsame Weide.
Schinnerer, Waldwiese — Winterabend.
Schramm-Zittau, Schwäne.
Strich-Chapell, Lieb Heimatland ade — Herbst im Land — Dorf in Dünen — Frühlingsgäste — Mondnacht.
Süß, Sankt Georg.
Voigt, Kirchgang.
v. Volkmann, Wogendes Kornfeld.
Wieland, Matterhorn — Letztes Leuchten.

Kleinere Blätter:

Bildgröße 41×30 cm. Erschienen sind ca. 50 Blätter, je ℳ 2.50, darunter:

Beckert, Sächsische Dorfstraße.
Bendrat, Aus alter Zeit — St. Marien in Danzig — Jakobskirche in Thorn — Ordensburg Marienwerder — Die Marienburg — Ruine Rheden.
Biese, Christmarkt — Einsamer Hof.
Daur, Beschneite Höhen — Kapelle.
Eisenlohr, Maimorgen.
Hein, Das Tal.
Hildenbrand, Was der Mond erzählt.
Kampmann, Herbstitürme — Feierabend.
Lunz, Altes Städtchen.
Orlik, Herbstluft.
Petzet, Am Stadttor.
Strich-Chapell, Blühende Kastanien.
Strich-Chapell, Heuernte.
v. Volkmann, Frühling auf der Weide.
Zeising, Dresden [Herbst in der Eifel.
Leinwandmappe m. 10 Bl. n. Wahl ℳ 28.—
Kartonmappe m. 5 Blätt. n. Wahl ℳ 12.—

Bunte Blätter:

Kleinste Künstlersteinzeichnungen.

Blattgröße 33×23 cm.

Erschienen sind ca. 20 Blätter,

je ℳ 1.—, darunter:

Biese, Verschneit.
Daur, Am Meer.
Eisenlohr, Am Waldesrand.
Glück, Morgensonne im Hochgebirge.
Hildenbrand, Stilles Gäßchen.
Kampmann, Baumblüte — Bergdorf.
Knapp, Unter dem Apfelbaum.
Matthaei, In den Marschen.
Schroedter, Bergschlößchen.

In Furnierrahmen . . . . . ℳ 1.80
In massivem Rahmen . . . . . ℳ 3.—
Leinwandmappe mit 10 Blättern nach Wahl . . . . . ℳ 12.—
Kartonmappe mit 5 Blättern nach Wahl . . . . . ℳ 5.—

Wand-Friese:

Bildgröße 105×14 cm je ℳ 4.—

Rehm-Victor, Wer will unter die Soldaten — Wir wollen die goldene Brücke bauen — Schlaraffenland — Schlaraffenleben — Englein z. Wacht — Englein z. Hut.
Lang, Um die Wurst — Heiteres Spiel.
Herrmann, Im Moor — Fischenbrödel — Rotkäppchen.
Rahmen v. ℳ 2.— bis ℳ 17.— laut Katalog.

Porträts: Größe 60×50 cm ℳ 3.—

Bauer, Goethe — Schiller — Luther.
Kampf, Kaiser Wilhelm II.
Bauer, Kleines Schillerbild. Größe 19×29 cm. Preis 1 ℳ, in Furnierrahmen 2 ℳ, in massivem Rahmen 3 ℳ.

Rahmen: Zu d. groß. Blättern ℳ 3.80 bis ℳ 17.— zu d. kleineren ℳ 2.— bis 4.—

Aus Natur und Geisteswelt
Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen
172. Bändchen

Die Lehre von der Wärme

Gemeinverständlich dargestellt von

Prof. Dr. R. Börnstein

Mit 33 Abbildungen im Text

Druck und Verlag von B. G. Teubner in Leipzig 1907

Digitized by Google

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten.

Digitized by Google

145055
AUG 4 1910
L I
.B64

Vorwort.

Gelegentlich der Berliner „volkstümlichen Hochschulkurse" hielt der Verfasser im Winter 1905—06 sechs Experimentalvorträge über Wärmelehre, deren nachträgliche Niederschrift hier vorliegt. Wie gewöhnlich bei diesen Kursen bestand die Zuhörerschaft großenteils aus Handwerkern, namentlich Mechanikern u. dergl., zu denen aber diesmal auch eine Anzahl von Volksschullehrern sich gesellt hatte, und hieraus erwuchs für den Vortragenden die Veranlassung, neben dem gewohnten Streben nach gemeinverständlicher Darstellung noch besonderen Wert auf die Vorführung einfacher Unterrichtsversuche zu legen, namentlich solcher, die keine großen Zurüstungen oder kostbaren Apparate erfordern. Auch beim Niederschreiben des Textes sind die vorkommenden Versuche genau und mit mancherlei auf die praktische Ausführung bezüglichen Einzelheiten geschildert und in einem besonderen Verzeichnis zusammengestellt worden. Ein anderes Verzeichnis bezieht sich auf die im Text zerstreuten Tabellen, in welchen zahlenmäßige Angaben über die Wärmeeigenschaften der Körper enthalten sind, und bei deren Zusammenstellung das beste in der Literatur vorhandene Tatsachenmaterial benutzt wurde.

Zur Erzielung möglichster Klarheit ist bei der Ausarbeitung die Form des mündlichen Vortrages beibehalten worden.

Berlin, im Juli 1907.

R. Börnstein.

Digitized by Google

Inhalt.

I. Ausdehnung erwärmter Körper. Temperaturmessung. Ausdehnung. Ihre Verschiedenheit bei verschiedenen festen Körpern. Anwendungen. Ausdehnung der Flüssigkeiten und Gase. Bewegung durch teilweise Erwärmung. Wasserheizung. Wind. Aufsteigender Luftstrom. Kubische Ausdehnung. Verhalten des Wassers. Thermometrie. Seite 1—20.

II. Wärmemessung. Wärme- und Kältequellen. Wärme als Energieform. Unterscheidung zwischen Temperatur und Wärme. Wärmemenge. Kalorie. Spezifische Wärme fester und flüssiger Körper. Klimatische Einwirkung der Gewässer. Wärmequellen. Sonne. Verbrennung. Wärmetönung bei chemischen Umsetzungen. Lösungswärme. Kältemischungen. Spezifische Wärme der Gase. Mechanisches Äquivalent der Wärme. Dynamische Erwärmung und Abkühlung. Reibung. Messung des mechanischen Wärmeäquivalentes. Seite 20—42.

III. Schmelzen und Erstarren. Schmelztemperatur. Regelation. Gletscher. Graupeln. Hagel. Eisregen. Gefrierpunktserniedrigung durch gelöste Körper. Schmelzwärme. Überschmelzung. Eiskühlung. Strahlungswärme und Eisschmelzung in den Polargegenden. Eiskalorimeter. Seite 42—57.

IV. Sieden und Verdampfen. Verflüssigen. Siedetemperatur. Ihre Abhängigkeit vom Druck. Verhalten des Wassers. Hypsothermometer. Sättigung. Siedepunktserhöhung durch gelöste Körper. Siedeverzug. Verflüssigen der Gase. Lindes Kältemaschine. Flüssige Luft. Kritischer Zustand. Daltons Gesetz. Freiwillige Verdampfung. Verdampfungswärme. Dampfheizung. Seite 57—77.

V. Verhalten des Wasserdampfes in der Atmosphäre. Dampf- und andere Wärmemaschinen. Absolute Luftfeuchtigkeit. Sättigungstemperaturen und -drucke für Wasserdampf. Taupunkt. Relative Feuchtigkeit. Hygrometer. Schwüle. Nachtfrostprognose. Föhn. Wolkenbildung. Stäubchen als Kondensationskerne. Nebel. Tau. Reif. Aufsteigender Luftstrom. Trocken-, Regenstadium. Größe der Regentropfen. Hagel-, Schneestadium. Wärmemaschinen. Leydenfrostscher Versuch samt Umkehrung. Verdampfungswärme des Wassers. Dampfmaschine. Expansion. Kondensator. Vorteile hohen Dampfdruckes. Heißdampfmaschine. Heißluftmaschine. Explosionsmaschinen. Wirkungsgrad. Dampfturbine. Seite 77—106.

VI. Bewegung der Wärme. Wärmeleitungsfähigkeit fester Körper. Anwendungen. Verhalten der Kristalle. Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten und Gase. Wärmestrahlung. Zurückwerfung. Brechung. Absorption. Wärmespektrum. Seite 106—122.

Verzeichnis der im Text beschriebenen Unterrichtsversuche. Seite 123.

Verzeichnis der in Tabellenform mitgeteilten Zahlenangaben. Seite 124.

Alphabetisches Verzeichnis. Seite 124—126.

Digitized by Google

I. Kapitel.

Ausdehnung erwärmter Körper. Temperaturmessung.

In diesen Vorträgen werden wir eine Reihe einzelner Tatsachen aus dem Gebiet der Wärmelehre kennen lernen und zugleich eine Anzahl nützlicher Anwendungen für das tägliche Leben. Dagegen wird es uns nicht gelingen, eine einfache und sichere Anschauung über die Natur der Wärme zu gewinnen. Wir befinden uns bei dieser Aufgabe etwa in der Lage eines Baumeisters, der vor den uralten Trümmern eines längst zerfallenen Hauses steht und dessen Gestalt in Gedanken wiederherzustellen sucht. Erfolgreich wird sein Bemühen nur dann sein, wenn es ihm gelingt, den Grundgedanken des einstigen Erbauers wieder aufzufinden und von diesem Gedanken aus den Bauplan neu herzuleiten, so daß er jedes Stück der übriggebliebenen Trümmer richtig deuten und ihm die frühere Stelle wieder zuweisen kann. In der Wärmelehre haben wir erst einzelne Bausteine, sie sind noch unvollständig, und es fehlt uns der Grundgedanke, welcher ihre Deutung ermöglichte. Der augenblickliche Stand der Forschung zwingt uns vielmehr zu dem Geständnis, daß wir die Frage nach dem eigentlichen Wesen der Wärme bisher nicht beantworten können, sondern höchstens einige Formen ihres Auftretens zu beschreiben vermögen.

Indem wir uns nun anschicken, den einzelnen Wärmevorgängen näher zu treten, beginnen wir mit der aus vielfacher Erfahrung hervorgehenden Tatsache, daß die Körper sich beim Erwärmen ausdehnen. Als erstes Beispiel diene uns dabei das Verhalten einer Messingkugel, die, wie wir sehen, durch den am gleichen Gestell befindlichen Eisenring jetzt leicht und glatt hindurchgeführt werden kann (Fig. 1). Erwärme ich nun die Kugel, während der Ring auf Zimmertemperatur

Digitized by Google

verbleibt, so dehnt sie sich derartig aus, daß sie nicht mehr durch den Ring gleitet, sondern auf ihm liegen bleibt. Es genügt dafür, die Kugel während einiger Sekunden in die Gasflamme zu halten, und es dauert darum auch nur kurze Zeit, bis die Kugel wieder durch den Ring hindurchfällt, denn sie hat sich inzwischen durch Wärmeabgabe an die Umgebung abgekühlt, der Ring sich zugleich durch Berührung mit der wärmeren Kugel selbst etwas erwärmt und vergrößert, und der Versuch zeigt uns demnach sowohl die Ausdehnung beim Erwärmen, wie auch die Zusammenziehung beim Abkühlen.

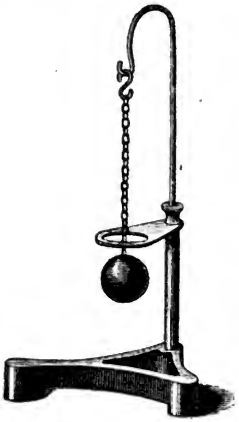


Fig. 1. Ausdehnen beim Erwärmen. (Nach Kohls Katalog.)

Daß dergleichen Größenänderung mit erheblicher Kraft geschieht, lehrt uns ein anderer Versuch, bei welchem wir die Erkaltung eines Stahlstabes verfolgen wollen. Der Stab (Fig. 2, oben) trägt an einem Ende (links) ein Gewinde und eine darauf geschraubte breite Schraubenmutter, am anderen Ende (rechts) eine quergerichtete Durchbohrung, durch welche ich einen kurzen gußeisernen Pflock stecke. Ich bringe den Stab in ein festes eisernes Gestell, gegen dessen beide Widerlager von außen her die Mutter und der Pflock sich legen, und erhitze dann den Stab durch eine untergesetzte Flamme. Ist die Temperatur hoch genug, so ziehe ich die Schraubenmutter fest an und verhindere damit zunächst das Zusammenziehen des Stabes, den ich nun der Abkühlung überlasse. Auf die Fortsetzung des Versuches müssen wir, weil die Erkaltung langsam vor sich geht, eine Weile warten, werden aber deutlich genug daran erinnert, wenn der sich verkürzende Stab endlich den Eisenpflock zerreißt und sich mit plötzlichem Ruck nach dem Schraubenende hin zusammenzieht, denn dieser einseitige Ruck ist so stark, daß der ganze Stahlstab aus dem Eisengestell herausfliegt und mit entsprechendem Gepolter zu Boden fällt.

Hiermit vergleichbar ist das bekannte Springen von Gläsern bei ungleichmäßiger Erwärmung; denn ebenso ungleich-

Digitized by Google

mäßig wie die Erwärmung ist auch die Ausdehnung, und dadurch kann der Zusammenhang benachbarter Teile zerstört werden.

Haben wir so die Tatsache der Ausdehnung erwärmter Körper kennen gelernt, so finden wir bei genauerer Untersuchung, daß verschiedene Materialien wesentliche Unterschiede zeigen. Aluminium z. B. dehnt sich bei gleicher Erwärmung etwa doppelt so stark aus, wie Eisen; Messing, Kupfer und Neusilber ungefähr um die Hälfte mehr, wie Eisen. Hier habe ich ein Stäbchen, bestehend aus zwei Streifen von Stahl und Kupfer, die der Länge nach durch Nieten aneinander befestigt sind. Bei gewöhnlicher Temperatur ist der Stab gerade; erwärme ich ihn, so dehnt das Kupfer sich stärker aus als der Stahl, und der Stab krümmt sich derartig, daß Kupfer die äußere, Stahl die innere Seite des Bogens bildet (Fig. 3). Bei Abkühlung würde die entgegengesetzte Krümmung eintreten.

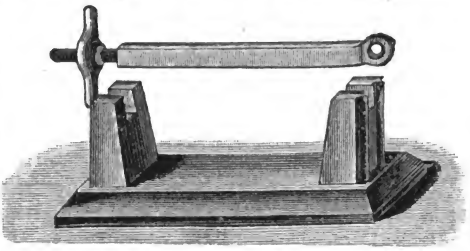


Fig. 2. Zusammenziehung beim Erkalten.
(Nach Kohls Katalog.)

Die große praktische Bedeutung der Wärmeausdehnung und ihrer Kenntnis hat schon längst dazu geführt, daß man ihren Betrag für eine große Zahl von Körpern feststellte. Dazu gehört die gleichzeitige Messung der Temperatur und Länge eines Stabes, der aus dem zu untersuchenden Material besteht und nacheinander den verschiedenen Temperaturen unterworfen wird. Kennt man dann die Länge, welche er bei jeder einzelnen Temperatur annimmt, so ist es leicht, daraus seinen linearen Ausdehnungskoeffizienten zu berechnen, welcher der zahlenmäßige Ausdruck seines Ausdehnungsvermögens ist und die Verlängerung für Erwärmung um 1^0 C als Bruchteil der ganzen Länge angibt.

Fig. 3. Kompensationsstreifen.
(Nach Bremer, Leitfaden der Physik.)

Digitized by Google

In der folgenden Tabelle ist dieser Wert für einige Körper zusammengestellt. Die Bedeutung der Zahlen ist diese, daß z. B. ein Aluminiumstab von 1 m Länge, den man um 10^0 C erwärmt, dadurch um 0,23 mm länger wird. Der geringe Betrag dieser Verlängerung läßt es verstehen, daß zur Feststellung derartiger Zahlen recht empfindliche Apparate und genaue Messungen erforderlich sind, während andererseits die Wichtigkeit solcher Feststellungen und ihre Beachtung bei zahlreichen Fragen des Tageslebens und der Technik durch die allgemeine Verbreitung der hier geschilderten Erscheinungen bedingt wird.

Lineare Ausdehnungskoeffizienten
bei etwa 18^0 C.

Aluminium	0,0000 23	Messing	0,0000 19
Blei	29	Neusilber	18
Eisen	12	Platin-Iridium	09
Stahl	11	Nickelstahl (36,1 % Nickel)	009
Gold	14	Glas	06
Kupfer	17	bis	09
Nickel	13	Hartgummi	8
Platin	09	Holz, quer	4
Silber	19	bis	6
Wismut	13	Holz, längs	03
Zink	29	bis	06
Zinn	23		

Einige solche Anwendungen seien zunächst geschildert. Alle eisernen Bauteile, wie Träger, Brücken usw., müssen derartig gelagert werden, daß ohne Schädigung des Bauwerks die Länge sich ändern kann, wie es den im Jahreslauf eintretenden Temperaturschwankungen entspricht. Ebenso pflegt man beim Eisen-

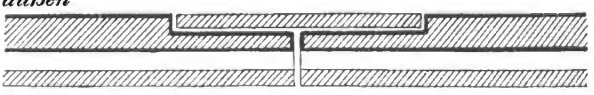


Fig. 4. Schienenstoß.

bahnbau die einzelnen Schienen durch ausreichend breite Fugen zu trennen, damit nicht im heißen Sommer Druck und Verbiegung eintritt. Soll dabei der Wagen vor Stößen geschützt werden, so benutzt man Einrichtungen wie bei der in Fig. 4 dargestellten Übergangsstelle einer Straßenbahnschiene.

Digitized by Google

Wichtig ist die Berücksichtigung der Längenausdehnung ferner bei den Uhren. Betrachten wir zunächst eine Pendeluhr, so hängt bekanntlich ihr Gang von der Länge des Pendels ab: das längere Pendel schwingt langsamer, das kürzere rascher. Und also würde eine solche Uhr mit einfacher Pendelstange, die den Temperaturen der Umgebung ausgesetzt ist, in der Kälte vorauseilen, in der Wärme zurückbleiben. Man vermeidet dies, indem man die einfache Pendelstange durch eine aus zwei verschiedenen Metallen gebildete Gruppe von Stäben ersetzt. Fig. 5 zeigt ein solches Rostpendel, dessen Stäbe abwechselnd aus Eisen und Zink bestehen. Die Anordnung ist derartig, daß durch Ausdehnen der Eisenstäbe das Pendel länger wird, daß es sich dagegen verkürzt, wenn die Zinkstäbe erwärmt und ausgedehnt werden. Da nun Zink etwa eine $2\frac{1}{2}$ mal stärkere Ausdehnung als Eisen hat, ist die Länge der Stäbe derartig gewählt, daß das gesamte Eisengehänge (der mittlere Stab bis zur Mitte des runden Gewichts gemessen) $2\frac{1}{2}$ mal länger ist, als das Zinkgehänge; und auf diese Art wird also das Pendel durch die gleichzeitige Ausdehnung beider Metalle um ebensoviel verlängert wie verkürzt und behält trotz veränderlicher Temperatur seine unveränderte Länge und Schwingungsdauer. Will man durch eine solche Kompensation eine Taschenuhr gegen die Temperatureinflüsse schützen, so dient dazu ein anderes Verfahren. Dem Pendel der Wanduhr entspricht bei der Taschenuhr die „Unruhe", jenes Rädchen, welches in Verbindung mit der spiralförmigen „Unruhefeder" durch seine hin- und hergehende Bewegung den Gang des Werkes regelt. Man kann die Unruhe (Fig. 6) auffassen als eine Anzahl von Pendeln, deren gemeinsamer Drehpunkt in der Radachse liegt, während die Radien als Pendelstäbe zu denken sind und die Pendelgewichte im Radkranz liegen. Auch hier wird durch Vergrößerung des Rades (der Pendellänge) der Uhrgang verlangsamt, durch Verkleinerung

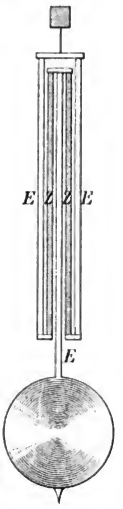


Fig. 5. Rostpendel. (Nach Bremer, Leitf. d. Physik.)

Fig. 6. Kompensierte Unruhe einer Taschenuhr. (Nach Bremer, Leitfaden der Physik.)

Digitized by Google

beschleunigt. Ist aber der Radkranz unter Verwendung zweier Metalle aus einem Stab hergestellt, wie er oben (Fig. 3) beschrieben wurde, so kann er gegen Temperaturwirkung gesichert sein. Das sich stärker ausdehnende Metall ist dabei außen angebracht, und der Stab ist nicht völlig zum Kreise gebogen, sondern enthält eine oder mehrere Lücken (*a* und *b*). Beim Erwärmen krümmt er sich stärker, so daß sein Schwerpunkt der Mitte genähert und auf diese Art der durch die Temperaturerhöhung ausgedehnte Radius wieder verkürzt wird, also die Schwingungsdauer unverändert bleibt.

Endlich sei noch darauf hingewiesen, daß bei jeder genauen Längenmessung die Beachtung der Temperaturverhältnisse erforderlich ist, und zwar muß sowohl die Temperatur des zu messenden Gegenstandes wie auch diejenige des Maßstabes berücksichtigt werden. Das erstere ist wohl ohne weiteres klar; und was das zweite betrifft, so wollen wir einmal annehmen, es werde die Länge eines bestimmten und nicht veränderlichen Gegenstandes zuerst bei gewöhnlicher Temperatur gemessen, und dann nochmals mit dem gleichen, aber inzwischen erwärmten Maßstab. Da er sich ausgedehnt hat, sind die Abstände seiner Teilstriche gewachsen, seine Millimeter sind tatsächlich jetzt länger als vorher, und es gehen ihrer weniger auf die gleiche Gesamtlänge. Der gemessene Gegenstand, welcher selbst unverändert bleibt, erscheint um so kürzer, je wärmer der Maßstab ist. Wenn Maßstab und Gegenstand aus gleichem Material bestehen, genügt es natürlich, daß sie beide gleiche Temperatur haben; andernfalls aber kommt in Betracht, daß sie verschieden stark beim Erwärmen ausgedehnt werden, und also gilt eine jede Messung streng genommen nur für diejenige Temperatur, bei welcher sie ausgeführt wurde. Gewöhnlich werden Längenmessungen auf 0^0 bezogen, nötigenfalls durch Umrechnen.

Wie bei festen, so findet auch bei flüssigen und gasförmigen Körpern Ausdehnen und Zusammenziehen als Wirkung von Erwärmen und Abkühlen statt. Zur Darstellung dieser Tatsachen mögen folgende Versuche dienen. Ich habe hier eine hohle dünnwandige Glaskugel von etwa 5 cm Durchmesser, welche bei Zimmertemperatur ganz mit Wasser gefüllt und dann durch Abschmelzen des Stiels verschlossen ist. Wenn ich sie nun in ein mit heißem Wasser gefülltes Gefäß lege, so erwärmt sich sowohl die Glashülle wie auch die Wasserfüllung. Hätten beide

Digitized by Google

die gleiche Ausdehnung, so würden wir ohne genaue Messung gar keine Änderung bemerken. Tatsächlich wird aber beim Erwärmen das Wasser viel stärker als das Glas ausgedehnt, und so nehmen wir alsbald wahr, daß die Glashülle dem wachsenden inneren Druck nicht mehr widerstehen kann, sondern mit leisem Klang in mehrere Stücke zerspringt. Betrachten wir die Bruchstücke, so ist ersichtlich, daß die Glaswand an einer Stelle, jedenfalls der schwächsten, zuerst nachgab, und daß von hier aus dann zahlreiche Sprünge nach allen Seiten ausgingen. Wir führen nun den entsprechenden Versuch mit Luft statt des Wassers aus und müssen dabei eine stärkere Wärmequelle benutzen, denn das bloße Eintauchen in heißes Wasser genügt nicht, um die mit Luft gefüllte Glaskugel zu sprengen. Ich setze also diese Kugel der Einwirkung einer Gasflamme aus und gebrauche dabei die Vorsicht, eine recht dicke Fensterglasscheibe zwischen die Augen der Anwesenden und unsere Glaskugel zu bringen, denn sobald sie genügend erhitzt ist, zerspringt sie mit lautem Knall in zahllose kleine Stückchen. Woher kommt nun diese äußere Verschiedenheit der beiden Versuche? Der Wärmevorgang war beidemal der nämliche: die Glaskugel wurde durch Ausdehnen ihres Inhalts auseinander getrieben. Aber Luft ist stark zusammendrückbar, Wasser dagegen fast gar nicht. Demnach nimmt die Wasserfüllung in jedem Augenblick denjenigen Raum ein, welcher der jeweiligen Temperatur entspricht, und wird daran nicht durch die Glashülle gehindert, sondern widerstandslos muß das Glas sich ausdehnen, um die wachsende Größe der erwärmten Wassermenge zu umschließen, bis endlich die Spannung so weit gestiegen ist, daß die Hülle springt. Dieser Vorgang hat aber auf das Wasser keinen merklichen Einfluß; es war vorher durch den starken inneren Druck nicht auf geringeren Raum eingeengt und hat also jetzt beim Nachlassen des Druckes auch keinen Anlaß, sich mehr auszudehnen, als der Temperatur entspricht. Die Luft hingegen ist so stark zusammendrückbar, daß beim Beginn des Erwärmens die Festigkeit der dünnen Glashülle ausreicht, um eine Ausdehnung der eingeschlossenen Luft zu hindern. Die Wirkung der erhöhten Temperatur besteht zunächst nur in einer Vermehrung des inneren Drucks; um ihn zu verdoppeln, muß die Luft um 273° C erwärmt werden. Ist dieser Druck stärker geworden, als die Glashülle vertragen kann, so springt sie auch

Digitized by Google

diesmal an ihrer schwächsten Stelle; dann aber tritt sofort ein Ausgleich zwischen innerem und äußerem Druck ein, und die vom bisherigen Druck befreite Innenluft dehnt sich so stürmisch aus, daß sie von der eben entstehenden Öffnung her rasch das Glas nach allen Seiten aufreißt und in kleine Stückchen zertrümmert.

Zugleich mit der Ausdehnung der Körper ändert sich auch ihre Dichte. Ein Gramm Wasser z. B. erfüllt bei 4° C gerade den Raum eines Kubikzentimeters; wird es erwärmt und ausgedehnt, so faßt jetzt ein Kubikzentimeter weniger als ein Gramm, die Flüssigkeit ist spezifisch leichter geworden. Daraus folgt, daß durch stellenweise Temperaturänderung in Flüssigkeit wie auch in Luft Störungen des Gleichgewichts entstehen und Bewegungen herbeigeführt werden, wie uns der folgende Versuch lehrt. Dies Glasrohr (Fig. 7) ist derartig gebogen, daß seine beiden Enden miteinander verschmolzen werden konnten; füllen wir es durch die obere Öffnung mit Wasser, so bildet dies einen zusammenhängenden und in sich geschlossenen Flüssigkeitsfaden. Das im übrigen freischwebende Rohr wird an seinem rechten Schenkel mittels einer Kupferklemme gehalten, welche sich am Ende eines kräftigen Kupferdrahtes befindet. Ich erwärme jetzt diesen Draht durch eine darunter gestellte kleine Spirituslampe und erhöhe, weil das Kupfer die Wärme gut leitet, auf diese Art auch die Temperatur des im rechten Rohrschenkel befindlichen Wassers. Damit ist im Innern des Rohres das Gleichgewicht gestört, denn während vorher in beiden Schenkeln gleich warme und gleich schwere Wassersäulen standen und beiderseits den gleichen Druck ausübten, ist jetzt rechts eine erwärmte und darum leichtere Wassersäule vorhanden, und daraus entsteht eine Bewegung, welche im rechten Schenkel aufwärts, im linken abwärts gerichtet ist, oben nach links und unten nach rechts führt. Das aus dem rechten Schenkel in die kälteren Rohrteile fließende Wasser gibt seine überschüssige

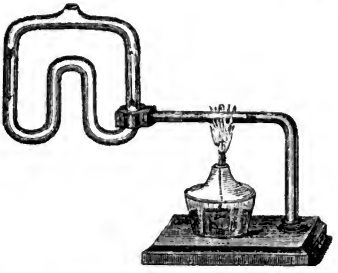


Fig. 7. Bewegung einseitig erwärmten Wassers. (Nach Leybolds Katalog.)

Digitized by Google

Wärme bald ab, während das kühlere Wasser, welches nun in den rechten Schenkel einfließt, dort sogleich erwärmt wird. Mit der Ursache der Gleichgewichtsstörung, nämlich der ungleichen Erwärmung beider Seiten, bleibt als Wirkung die geschilderte Bewegung bestehen. Ich kann diesen Kreislauf des Wassers in der Röhre leicht für uns alle sichtbar machen, indem ich durch die obere Öffnung ein Tröpfchen roter Farbe in die Flüssigkeit bringe, denn nun schreitet die Rotfärbung im Wasser nur nach links (mit der Strömung) fort. In größerem Maßstab finden wir den gleichen Vorgang bei der Warmwasserheizung. Eine mit Wasser gefüllte und in sich geschlossene Röhrenleitung durchzieht alle Räume des Gebäudes und wird an einer zweckmäßig gewählten Stelle durch Feuerung erhitzt. Dann entsteht durch die Gleichgewichtsstörung in der Röhre ein Kreislauf des Wassers, welcher den sämtlichen Räumen Wärme zuführt.

Wie in Flüssigkeit, so wird auch in Luft durch ungleichmäßige Erwärmung das Gleichgewicht gestört und das Auftreten von Strömungen erzeugt. Wahrscheinlich ist dies die letzte und einzige Ursache der Winde; ehe wir zur Veranschaulichung einen eigenen Versuch anstellen, wenden wir unsere Aufmerksamkeit einem Vorgang zu, welchen die Natur in großem Stil uns vorführt. Als Schauplatz der Beobachtung wählen wir die heiße Zone, denn dort treten die Witterungserscheinungen viel regelmäßiger auf, als in unseren Breiten, und wir finden in der Windbewegung dieselben Einzelheiten wieder, welche uns im kleinen das Wasserrohr des vorigen Versuchs erkennen ließ. Die wärmste Gegend liegt in der Nähe des Äquators, durchschnittlich bei etwa 10^0 nördlicher Breite, und verschiebt sich im Jahreslauf während unseres Sommers nach Norden, während unseres Winters (der bekanntlich mit dem Sommer der südlichen Erdhälfte zusammenfällt) nach Süden. Über dieser wärmsten Gegend steigt die Luft empor, und da wir die bloß aufsteigende Bewegung nicht als Wind empfinden, herrscht dort meist Windstille, und man bezeichnet diese Zone der Erdoberfläche als *Kalmengürtel*. Unten fließt von Nord und von Süd her kältere Luft herbei, während oben die aufgestiegene Luft nach beiden Seiten abfließt, um in nördlicheren bzw. südlicheren Gegenden wieder herabzusteigen. Außer der Temperaturverteilung wirkt auf die Bewegung der Luftmassen auch die Erddrehung ein und zwar in der Weise, daß eine

Digitized by Google

jede Bewegung auf der nördlichen Erdhälfte nach rechts, auf der südlichen nach links abgelenkt wird. Die untere Strömung, welche wir als Wind wahrnehmen und bezeichnen, ist also nicht als Nord- und Südwind gegen den Äquator gerichtet, sondern kommt von Nordosten und von Südosten her und führt unter dem Namen der Passatwinde die Luftmassen von beiden Seiten schräg zu den Kalmen hin.

In höheren Breiten treten die Witterungsvorgänge weniger regelmäßig auf, weil die ungleichmäßige Verteilung von Wasser und Land vielfach einwirkt. Aber auch diese Einwirkung ist vorzugsweise auf die ungleich verteilte Erwärmung und Ausdehnung der Luft zurückzuführen. Aus verschiedenen Gründen, die später erwähnt werden sollen, ist auf dem Meere und an der Küste die jährliche Temperaturschwankung kleiner, als im Binnenlande; an der See gibt es geringere Sommerhitze und geringere Winterkälte, als mitten im Lande. Das gleiche gilt von der Luft, die sich über dem Wasser und dem festen Boden befindet, auch sie ist im Sommer über dem Lande wärmer, im Winter über der See. Genau wie bei dem zuletzt von uns betrachteten Versuch muß also auch hier ein Kreislauf entstehen, welcher an der wärmeren Seite hinauf, an der kälteren herab, unten von der kalten zur warmen Gegend und oben umgekehrt gerichtet ist. Für die untere Strömung, welche die von uns wahrgenommenen Winde ausmacht, folgt daraus im Sommer Seewind, im Winter Landwind, und in der Tat finden wir an den Küsten der großen Kontinente vielfach derartige Winde, die in der warmen und kalten Jahreszeit aus entgegengesetzten Richtungen wehen und als Monsune bezeichnet werden.

In geringerem Betrage, aber doch an vielen Stellen recht deutlich, wirkt auf diese Weise auch die tägliche Temperaturschwankung. Sie führt, wie nach dem Vorstehenden leicht einzusehen ist, dazu, daß bei Tage das Land, bei Nacht die See wärmer ist, und daß also namentlich im Sommer, wenn diese Verschiedenheit größer ist, bei Tage Seewind, bei Nacht Landwind vorwiegt, wie es ja an vielen Küstenorten durch Erfahrung längst feststeht.

Endlich können wir auch durch einen Versuch noch Luftbewegungen der geschilderten Art anschaulich machen. Eine Glasplatte liegt wagerecht auf einigen Holzklötzen und trägt eine Glasglocke, wie man sie bei Luftpumpenversuchen zu benutzen

Digitized by Google

pflegt. Um die Bewegungen der inneren Luft sichtbar zu machen, blase ich in den unteren Teil der Glocke etwas Tabaksrauch hinein und überlasse dann den nach außen völlig abgeschlossenen Innenraum für kurze Zeit sich selbst. Der Tabaksrauch besteht aus feinen Tröpfchen, welche schwerer als Luft sind und sich deshalb in langsamem Herabsinken am Boden des Gefäßes als dichte Nebelschicht ansammeln. Nun erwärme ich die Mitte der Grundplatte, etwa durch Berühren mit dem glimmenden Ende der Zigarre, und alsbald sehen wir (Fig. 8), wie sich aus der Rauchschicht ein pilzförmiges Gebilde emporhebt: über der erwärmten Stelle steigt die Luft auf, breitet sich oben aus und fließt unten von allen Seiten heran.

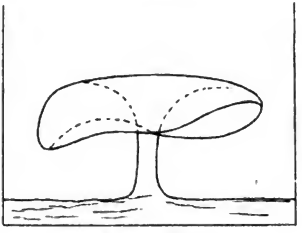


Fig. 8. Aufsteigender Luftstrom. (Nach Wettin, Poggendorffs Annalen.)

Übrigens können wir die Bewegung ungleich erwärmter Flüssigkeits- oder Luftmassen auch ohne färbenden Zusatz (rote Flüssigkeit, Tabaksrauch) erkennen, wenn wir auf die Lichtbewegung achten, denn mit jeder Änderung der Temperatur und Dichte ändert sich auch die Brechung des hindurchgehenden Lichtes. Während in einer gleichmäßig warmen Wasser- oder Luftmasse die Strahlen geradlinig fortschreiten, führt eine örtliche Erwärmung zu abgelenkten Lichtbahnen und erzeugt eine derartig veränderte Verteilung der Helligkeit, daß wir die an den erwärmten Stellen aufsteigenden Ströme mit den Augen erkennen können. Recht deutlich wird die Erscheinung, wenn ich mit Hilfe der Projektionslampe an der Wand das vergrößerte Bild einer kleinen Spiritusflamme entwerfe; wir sehen dann über der Flamme den von ihr ausgehenden Strom warmer und leichter Luft emporsteigen. Aber auch ohne solche Vorrichtung können wir leicht das gleiche bemerken, wenn wir über eine Flamme hinwegblicken und die dahinter befindlichen Gegenstände anschauen. Sie erscheinen uns dann schwankend, weil der von der Flamme aufsteigende warme Strom fortwährend kleine Schwankungen ausführt. Auch das Flimmern der Sterne entspringt aus der Bewegung unregelmäßig erwärmter Luftmassen,

Digitized by Google

und sein Ursprung ist also nicht etwa bei dem Stern, sondern meist ganz nahe bei dem Beobachter zu suchen.

Indem wir nunmehr auch für einige flüssige und gasförmige Körper den Betrag der Ausdehnung zahlenmäßig angeben, hat der Ausdehnungskoeffizient hier eine etwas andere Bedeutung, wie vorher bei den festen Körpern; denn dort handelte es sich um bloße Längenänderung, und sie wurde durch den linearen Ausdehnungskoeffizienten gemessen, bei Flüssigkeiten und Gasen aber müssen wir die räumliche Ausdehnung zugrunde legen und bringen sie durch die in der folgenden Tabelle enthaltenen kubischen Ausdehnungskoeffizienten zum Ausdruck. Diese Zahlen geben die beim Erwärmen um 1° C stattfindende Vermehrung des Volumens an, ausgedrückt in Bruchteilen des ursprünglichen Volumens. Ein Kubikzentimeter Quecksilber z. B., dessen Temperatur man um 10° C erhöht, nimmt danach um 1,81 Kubikmillimeter mehr Raum ein. Zwischen beiden Ausdrucksweisen besteht eine sehr einfache Beziehung, denn da die lineare Ausdehnung nach einer Richtung, die räumliche nach drei Richtungen stattfindet, so kann man ohne große Ungenauigkeit sagen, der kubische Ausdehnungskoeffizient sei gleich dem dreifachen Werte des linearen. Für Glas z. B., dessen linearer Ausdehnungskoeffizient oben zu 0,000006 bis 0,000009 angegeben wurde, beträgt der kubische Koeffizient 0,000018 bis 0,000027 und ist also bei allen Glassorten viel geringer, als etwa beim Quecksilber. Bei Hartgummi dagegen sind die entsprechenden Werte 0,00008 und 0,00024; dieser Körper hat also erheblich stärkere räumliche Ausdehnung als Quecksilber.

Kubischer Ausdehnungskoeffizient
bei etwa 18° C.

Äther	0,00163	Petroleum	0,00092
Alkohol	110	Schwefelkohlenstoff	121
Anilin	085	Wasser	018
Benzol	124	Quecksilber	0181
Essigsäure	107	Luft	3670

Der in der Überschrift der Tabelle vorhandene Zusatz „bei etwa 18° C" deutet schon auf eine Abhängigkeit der Ausdehnung von der Anfangstemperatur hin, und in der Tat sind die Werte des Ausdehnungskoeffizienten bei höherer Temperatur

Digitized by Google

meist größer. Namentlich das Wasser ändert seine Ausdehnung mit der Temperatur sehr stark, sein Ausdehnungskoeffizient nimmt bei sinkender Temperatur rasch ab, erreicht bei 4° C den Wert Null und wird dann sogar negativ. Das heißt: Wasser hat nur oberhalb 4° die Eigenschaft, sich beim Erwärmen auszudehnen; zwischen 4 und 0° verhält es sich umgekehrt, dehnt sich beim Abkühlen aus und zieht sich beim Erwärmen zusammen. Man drückt das auch durch die Angabe aus, das Wasser habe bei 4° seine größte Dichte, weil es von dieser Temperatur ab beim Erwärmen wie beim Abkühlen sich ausdehnt und also an Dichte abnimmt. Diese Temperatur des „Dichtemaximum" ist übrigens vom Druck abhängig, und der obengenannte Wert von 4° C entspricht einer Atmosphäre; unter einem Druck von 10 Atmosphären liegt das Dichtemaximum etwa bei 3,5°, unter 150 Atmosphären etwa bei 0,5°. Durch einen Versuch können wir die besonderen Ausdehnungsverhältnisse des Wassers leicht sichtbar machen. Dazu bedienen wir uns eines flaschenförmigen Gefäßes, dessen Hals durch eine lange und enge Röhre ersetzt ist, füllen dies Gefäß bis in die Röhre hinein mit Wasser und stellen es in Eis oder Schnee von 0°. Wir sehen das anfangs zimmerwarme Wasser zunächst rasch in der Röhre sinken, dann langsamer, endlich bleibt es stehen, und ein im Innern des Wassers befindliches Thermometer zeigt uns an, daß gerade bei 4° das Sinken aufhörte; hierauf steigt das Wasser wieder, bis es mit 0° die Temperatur der Umgebung und zugleich denjenigen Stand erreicht hat, welchen es vorher bei 8,1° einnahm.

Bringen wir das auf 0° abgekühlte Wasser in eine noch kältere Umgebung und entziehen ihm dadurch Wärme, so verwandelt es sich allmählich in Eis von 0° und dehnt sich dabei wieder beträchtlich aus. Während ein Gramm Wasser bei 4° genau den Raum eines Kubikzentimeters erfüllt, bei 100° 1,04343 und bei 0° 1,000132 ccm, beträgt für 1 g Eis von 0° der entsprechende Wert 1,092 ccm; das Wasser dehnt sich also beim Erstarren ohne Temperaturänderung um etwa 9 Prozent seines Volumens aus. Wird Eis noch weiter abgekühlt, so tritt, wie bei anderen festen Körpern, Zusammenziehung ein. Daß die Ausdehnung des gefrierenden Wassers ebenso kraftvoll geschieht, wie wir es beim Erwärmen vorher sahen, wird uns der folgende Versuch zeigen. Eine gußeiserne Bombe, nämlich

Digitized by Google

eine Hohlkugel von etwa 10 cm äußerem Durchmesser und 1 bis 2 cm Wandstärke, fülle ich mit Wasser von nahezu 4°, verschraube die Öffnung fest durch einen gut passenden eisernen Stopfen und bringe das Ganze in eine mit Kältemischung (Kochsalz mit dem dreifachen Gewicht Schnee oder Eisstückchen) gefüllte Kiste. Um vor etwa herumfliegenden Sprengstücken sicher zu sein, legen wir auf die Kiste einen festen Deckel, stellen sie vorläufig beiseite und vernehmen nach einer Viertel- oder halben Stunde einen dumpfen Knall: das im Gefrieren sich stark ausdehnende Wasser hat die Bombe zersprengt.

Aus diesen Eigenschaften des Wassers vermögen wir die Vorgänge zu verstehen, welche beim winterlichen Abkühlen und Zufrieren der Gewässer zu beobachten sind. Beim Eintritt der kühlen Jahreszeit erkaltet zunächst das an der Oberfläche befindliche Wasser, wird dabei schwerer und sinkt zu Boden. Dies dauert aber nur so lange, bis die Temperatur von 4° erreicht ist und eine Wasserschicht von dieser Temperatur, die sich also im Zustande der größten Dichte befindet, den Boden bedeckt. Die weitere Abkühlung des Oberflächenwassers führt dann wieder zur Ausdehnung, das zwischen 4 und 0° befindliche Wasser ist leichter als die unterste Schicht und bleibt also oben, und wenn dann die oberste und jetzt kälteste Schicht zu gefrieren beginnt, ist auch damit wieder eine Ausdehnung verbunden; das sich bildende Eis schwimmt auf der Oberfläche, weil es leichter ist, als alles Wasser, und die bei fortwirkender Kälte entstehende zusammenhängende Eisdecke schützt als schlechter Wärmeleiter das Wasser gegen weitere Wärmeentziehung.

Wo im Gestein oder im Mauerwerk Spalten dem Regenwasser und der Winterkälte zugänglich sind, werden sie durch das gefrierende Wasser erweitert, und die Zerkleinerung von Felsmassen sowie die Auflockerung des Bodens sind die weit verbreiteten Wirkungen solcher Vorgänge.

Man würde indessen irren, wollte man diese Dinge als Besonderheiten gerade des Wassers ansehen. Hier habe ich eine Probe metallischen Wismuts, an dem wir sogleich die beim Erstarren auftretende Ausdehnung bemerken werden. Ich erhitze das Metall in einem dünnwandigen Probierglächen, bis es geschmolzen ist, und lasse es dann abkühlen. Wie auf dem Wasser das Eis schwimmt, so erstarrt auch beim Wismut zuerst die oberste Schicht, und es ist ja eigentlich schon hiermit be-

Digitized by Google

wiesen, daß bei der Schmelztemperatur das feste Metall leichter als das flüssige ist, denn sonst würde es untersinken. Wenn wir dann noch die weitere Erkaltung abwarten, wird dem sich ausdehnenden Metall das Gefäß zu klein, und es zerspringt. Bei zahlreichen anderen Metallen hat man entsprechende Wahrnehmungen gemacht und konnte dabei als beweisend die einfache Tatsache ansehen, daß in einem Gemisch von geschmolzenem und festem Metall die festen Teile oben schwimmen. Daß dies beispielsweise auch beim Eisen zutrifft, ist in Gießereien leicht zu beobachten.

Die vorstehend geschilderte Eigenschaft aller Körper, mit der Temperatur auch ihr Volumen zu ändern, findet ebenso wichtige wie fruchtbare Anwendung in der Thermometrie. Es scheint, daß verschiedene Erfinder unabhängig voneinander darauf verfallen sind, jene Volumenänderungen für die Temperaturmessung zu benutzen. Bereits um das Jahr 1597 verwendete Galilei (1564—1642) in seinen an der Universität Padua gehaltenen Vorlesungen einen Apparat, bestehend aus einer Glasröhre mit angeblasener Kugel, welcher in aufrechter Stellung so befestigt war, daß das unten befindliche offene Ende der Röhre in ein Gefäß mit Wasser tauchte. Durch schwaches Erwärmen der Kugel hatte man einen Teil der darin befindlichen Luft ausgetrieben, so daß nach dem Erkalten das Wasser in der Röhre emporgestiegen war und durch seine Stellung die Temperatur der eingeschlossenen Luft anzeigte. Wurde die Luft erwärmt und ausgedehnt, so sank die Wassersäule, wurde die Luft abgekühlt, so stieg das Wasser im Rohr. Die gleiche Vorrichtung wurde 1604 von Cornelius Drebbel beschrieben. Sie war übrigens recht unvollkommen, denn außer der Temperatur wirkte auf den Stand der Wassersäule auch der Luftdruck, dessen Anwachsen die eingeschlossene Luft zusammendrückte und also gerade wie eine Abkühlung das Wasser in der Röhre steigen ließ, während umgekehrt bei abnehmendem Druck die innere Luft sich wie beim Erwärmen ausdehnte und die Wassersäule sank. Man konnte daher höchstens rasche Temperaturänderungen mit diesem Instrument verfolgen. Seltsamerweise wird es in Schriften jener Zeit als eine Art von Perpetuum mobile geschildert, eine Maschine, die sich von selbst bewegte, ohne daß man sah, woher der beständig schwankenden Wassersäule die Bewegung zugeführt wurde.

Digitized by Google

Den Übelstand, daß das Instrument nicht nur von der Temperatur, sondern auch vom Luftdruck abhing, lernte man vermeiden, indem man zum Füllen des Gefäßes statt Luft eine nicht zusammendrückbare Flüssigkeit nahm. Alkohol und Quecksilber wurden dafür verwendet, und die Thermometer gewannen bald die noch heute übliche Form einer engen Röhre mit angeblasener Kugel und zugeschmolzenem Ende. Das erste Quecksilberthermometer scheint von Ismael Bouillau 1659 hergestellt zu sein, wird aber als unempfindlich geschildert und dürfte daher wenig brauchbar gewesen sein. Daniel Gabriel Fahrenheit (1686—1736) beschrieb 1724 ein Verfahren zur Herstellung gut miteinander übereinstimmender Thermometer. Er benutzte anfangs Alkohol, später Quecksilber zum Füllen der Instrumente; um die festen Punkte für die Gradeinteilung zu bestimmen, brachte er das Thermometer zuerst in ein Gemisch von Eis, Wasser und Salmiak oder Kochsalz und bezeichnete die Stellung der Flüssigkeit mit 0°; dies war etwa die tiefste Temperatur des strengen Winters 1709 in Danzig. Dann stellte er das Thermometer in ein Gemisch von Eis mit Wasser und bezeichnete die nun eintretende Stellung mit 32°. Indem er die zwischen beiden Punkten liegende Strecke in 32 gleiche Teile zerlegte und diese Teilung nach oben fortsetzte, bildete er die nach ihm genannte Thermometerskala, welche in England und Amerika noch viel benutzt wird. Zur Kontrolle bestimmte Fahrenheit mit seinem Thermometer die Bluttemperatur eines gesunden Menschen durch Einlegen in den Mund und unter den Arm, und bezeichnete diese mit 96°; für den Siedepunkt des Wassers gibt er 212° an, scheint aber diesen Punkt nicht zum Herstellen der Teilung benutzt zu haben. Die beiden von der Gefrier- und Siedetemperatur des Wassers hergeleiteten festen Punkte benutzte der Pariser René Antoine Ferchault de Réaumur (1683—1757); er fand, daß die in seinen Thermometern befindliche Alkohol-Wasser-Mischung sich zwischen jenen beiden Temperaturen um 80 Tausendstel ihres Volumens ausdehnte, bezeichnete die beiden Punkte darum mit 0 und 80° und zerlegte ihren Abstand in 80 gleiche Teile mit entsprechender Fortsetzung dieser Teilung nach oben und unten. Die regelmäßigere Ausdehnung, welche das Quecksilber vor dem Alkohol auszeichnet, führte dazu, daß man immer häufiger das Quecksilberthermometer benutzte. Der Schwede Anders Celsius (1701—44) schlug

Digitized by Google

dazu vor, die zwischen Gefrier- und Siedepunkt des Wassers liegende Strecke in 100 Teile zu zerlegen, hatte aber die 100 am Eispunkt und die Null am Siedepunkt angebracht. Auf Veranlassung seines Landsmannes und Zeitgenossen, des Botanikers Karl von Linné (1707–78), kehrte man die Teilung um und gab ihr die heute noch übliche Gestalt. Für wissenschaftliche und ärztliche Messungen dient allgemein die Celsiusskala, während daneben in Deutschland diejenige von Réaumur noch vielfach benutzt wird. Die gegenseitige Umrechnung der drei noch gebräuchlichen Thermometerskalen ist leicht auf Grund der folgenden Angaben auszuführen. Réaumur- und Celsiusgrade haben bei gleichem Nullpunkt das Zahlenverhältnis 4 zu 5; will man sie mit Fahrenheitgraden vergleichen, so ist von diesen zuerst 32 abzuziehen, dann stehen sie zu Réaumur- und Celsiusgraden im Verhältnis von 9 zu 4 und 5.

Die folgende Tabelle enthält einige dieser Umrechnung entsprechende Zahlen, während Fig. 9 die Vergleichung der festen Punkte zeigt.

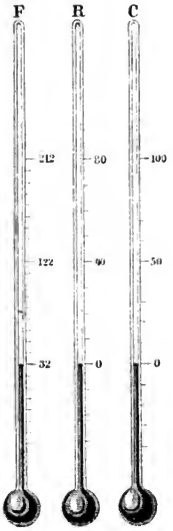


Fig. 9. Thermometerskalen. (Nach Bremer, Leitfaden der Physik.)

Thermometerskalen von Celsius, Réaumur, Fahrenheit.

C	R	F	C	R	F
— 23,3°	— 18,6°	— 10°	25°	20°	77°
— 20	— 16	— 4	30	24	86
— 17,8	— 14,2	0	35	28	95
0	0	32	37	29,6	98,6
10	8	50	50	40	112
20	16	68	100	80	212

Soll ein Quecksilberthermometer zu recht genauen Messungen dienen, so muß man seine etwaigen Fehler kennen und in Rechnung ziehen. Dazu gehört in erster Linie die Prüfung seiner festen Punkte; man bringt dabei das Instrument in schmelzendes Eis und stellt die Lage des richtigen Nullpunktes fest; ebenso wird in einem mit dem Dampf siedenden Wassers

Digitized by Google

erfüllten geschlossenen Gefäß die Lage des richtigen Siedepunktes (unter Berücksichtigung des Barometerstandes, vgl. Siedepunkt) festgestellt. Dann kommen die Kaliberfehler in Betracht, bestehend in ungleicher Weite der Röhre, weil eine bestimmte Quecksilbermenge an verschieden weiten Stellen des Rohres verschieden lang erscheint. Durch Verschieben eines kurzen Quecksilberfadens im Rohr unter beständiger Beachtung seiner Länge kann man solche Fehler erkennen und ihre Größe bestimmen. Ferner ist zu bedenken, daß wir nicht bloß die Ausdehnung des Quecksilbers an unseren Thermometern beobachten, sondern stets den Unterschied der Ausdehnung von Quecksilber und Glas. Um dies zu bemerken, brauchen wir nur die Quecksilbersäule eines Thermometers zu betrachten, dessen Kugel rasch erwärmt wird. Ich benutze hier für den Versuch ein Instrument mit gläserner, durchsichtiger Skala und entwerfe mittels der Projektionslampe an der Wand ein vergrößertes Bild, welches uns das Ende des Quecksilberfadens und die Zahlen der Teilung deutlich sehen läßt. Wenn ich nun die Thermometerkugel mit der Gasflamme rasch berühre, macht das Quecksilber eine zuckende Bewegung nach unten, es sinkt zunächst um einen oder mehrere Grade und beginnt dann erst zu steigen. Der Vorgang ist leicht zu verstehen, denn zuerst wird die Glashülle erwärmt und ausgedehnt; darum fällt das Thermometer, bis die Wärme durch das Glas hindurch zum Quecksilber gelangt ist und nun erst das Steigen beginnt. Lehrt dieser Versuch uns die Wichtigkeit auch der Glasausdehnung für die Angaben des Instruments kennen, so werden wir um so eher verstehen, wie störend es sein mußte, daß namentlich in früherer Zeit die Glaskugeln allmähliche Veränderungen ihrer Größe aufwiesen. War das Instrument vor der Glasbläserlampe hergestellt und dann abgekühlt, so gewann es nicht sofort seine endgültige Größe, sondern zeigte eine langsame Nachwirkung, welche den Nullpunkt allmählich hob, Monate und länger dauerte und nach jedem Erhitzen des Thermometers wieder auftreten konnte. Durch passende Wahl der Bestandteile vermag man neuerdings Glassorten herzustellen, welche diesen Übelstand nur in sehr geringem Grade zeigen; namentlich das Jenaer Thermometerglas hat sich sehr brauchbar erwiesen.

Den starken Einfluß des Materials, aus welchem das Thermometergefäß gefertigt ist, sehen wir auch in folgendem

Digitized by Google

Versuch. Hier habe ich ein aus Hartgummi hergestelltes Gefäß, dessen Hohlraum einige Kubikzentimeter beträgt. Es ist ganz mit Quecksilber gefüllt und mit einem durchbohrten Kork verschlossen; nun schiebe ich durch die Bohrung des Korkes ein genau passendes, enges Glasrohr soweit hinein, daß das Quecksilber in dieser Röhre emporsteigt, stelle das Ganze zusammen mit einem gewöhnlichen Quecksilberthermometer vor der Projektionslampe auf, und entwerfe von beiden Apparaten ein vergrößertes Bild an der Wand. Wenn ich jetzt durch Heraufheben eines mit heißem Wasser gefüllten Bechers die Apparate erwärme, sehen wir in unserem Hartgummi-Apparat das Quecksilber sinken, während das Glasthermometer in bekannter Weise steigt. Die Erklärung hierfür gibt uns ein Blick in die Zahlenangaben von S. 4 und 12: Der kubische Ausdehnungskoeffizient des Quecksilbers (0,000181) ist größer, als der des Glases (0,000018), aber kleiner als derjenige des Hartgummi (0,00024). Verwenden wir diesen letzteren Stoff zu einem Thermometergefäß, so entsteht eine Vorrichtung, die man etwa als verkehrt gehendes Thermometer bezeichnen könnte.

Ein für genaue Temperaturmessungen wichtiger Umstand ist ferner die ungleichmäßige Ausdehnung der Thermometerflüssigkeit. Das Quecksilber ist in dieser Hinsicht zwar noch günstiger, als der Alkohol, hat aber doch merklich stärkere Ausdehnung bei höheren als bei niederen Temperaturen. Die Thermometerskalen müßten also, um dieser Eigenschaft der Quecksilberfüllung zu entsprechen, derartig geteilt sein, daß die Gradstriche nach oben hin immer größere Abstände voneinander hätten, und doch wäre es auch dann noch überaus schwierig, die Teilung wirklich genau richtig zu gestalten. Man vermeidet diese Übelstände, indem man statt der Flüssigkeit eine geeignete Luftart benutzt; freilich steht dann dem Vorteil der gleichförmigen Ausdehnung der schon oben erwähnte Nachteil gegenüber, daß der von einer abgeschlossenen Luftmenge eingenommene Raum nicht bloß durch die Temperatur, sondern auch durch den Druck beeinflußt wird, und man muß also den äußeren Luftdruck entweder abschließen oder in Rechnung ziehen. Demnach ist ein Luftthermometer zwar ein zuverlässiger, aber auch recht umständlicher Meßapparat, und eine jede Temperaturbestimmung mit diesem meist Wasserstoff enthaltenden Instrument erfordert erheblichen Aufwand an Zeit und Arbeit. Man pflegt sich

Digitized by Google

indessen zur Erzielung genauer Temperaturmessungen dadurch zu helfen, daß man Quecksilberthermometer benutzt, deren Angaben durch Vergleich mit einem Wasserstoffthermometer geprüft und, soweit nötig, berichtigt sind.

II. Kapitel.

Wärmemessung. Wärme- und Kältequellen. Wärme als Energieform.

Es mag sonderbar scheinen, daß in der Überschrift des vorigen Kapitels die Temperaturmessung genannt wurde und nun hier wieder von Wärmemessung die Rede sein soll. Die Sprache des täglichen Lebens pflegt freilich zwischen Temperatur und Wärme nicht zu unterscheiden, und eifrige Verdeutschungs-Schwärmer haben sogar das harmlose, weil in allen Sprachen gleichlautende Fremdwort Thermometer durch „Wärmemesser" zu ersetzen versucht. Die Physik legt aber beiden Worten ganz verschiedene Bedeutung bei, und man sollte die Begriffe Temperatur und Wärme auch in der gewöhnlichen Verkehrssprache nicht vermengen. Unter Temperatur eines Körpers nämlich verstehen wir seinen Wärmezustand, und wir vergleichen die Temperaturen verschiedener Körper, indem wir diese nahe aneinander bringen und zusehen, ob dabei ihr Wärmezustand sich ändert oder nicht. So erforschen wir die Temperatur der uns umgebenden Körper durch Betasten (wobei übrigens die Außenseite unserer Finger das feinste Empfindungsvermögen zeigt) und stellen aus dem Gefühl der Hand fest, ob der untersuchte Gegenstand uns „warm" oder „kalt" erscheint, d. h. ob er der Hand Wärme gibt oder entzieht, wärmer oder kälter als die Hand ist. Zuverlässiger und genauer geschieht solches Erforschen mittels des Thermometers, weil dies seinen jeweiligen Wärmezustand leicht erkennen und in Zahlen ausdrücken läßt. Wenn wir z. B. die Körpertemperatur eines Fiebernden untersuchen wollen und in seine Achsel ein Thermometer einführen, so sehen wir dies alsbald steigen und erkennen also, daß seine Temperatur niedriger war, als diejenige des Kranken, und daß es von ihm Wärme empfängt. Warten wir ab, bis das Queck-

Digitized by Google

silber einen festen Stand erreicht hat, so wissen wir nun, daß beide Temperaturen gleich geworden sind, und können den gemeinsamen Wärmezustand an der Thermometerskala ablesen. Das sind freilich lauter Einzelheiten, die uns allen längst schon ebenso bekannt sind, wie die Tatsache, daß die Temperatur eines Körpers steigt oder sinkt, wenn ihm Wärme zugeführt oder fortgenommen wird. Wieviel Wärme aber zugeführt oder fortgenommen werden muß, um eine bestimmte Temperaturänderung zu erwirken, pflegen wir im täglichen Leben nicht zu beachten. Das Thermometer gibt uns darüber auch zunächst keine Auskunft, es ist eben nicht ein Wärmemesser, sondern ein Temperaturmesser, es zeigt uns den Wärmezustand der Körper an, aber nicht die ihnen etwa zugeführte Wärmemenge.

Wir werden im folgenden das Wort Wärme stets zur Bezeichnung einer Wärmemenge brauchen, wie es in der Wissenschaft üblich und zur Vermeidung von Mißverständnissen wünschenswert ist. Danach bedeutet also z. B. „Luftwärme" oder „Bodenwärme" nicht etwa die Temperatur der Luft oder des Bodens, sondern die ihnen zugeführte oder innewohnende Wärmemenge.

Fig. 10.
Vergleichung spezifischer Wärmen.
(Nach Gebhardts Katalog.)

Zunächst sollen einige Versuche diesen Begriff anschaulich machen. Hier habe ich fünf Kugeln von gleicher Größe, 1 bis 2 cm im Durchmesser, bestehend aus Eisen, Zink, Kupfer, Blei und Wismut (Fig. 10). Sie sind alle mit Ösen versehen und auf die umgebogenen Enden eines Drahtgestelles derartig aufgeschoben, daß ich die Kugeln festhalten und durch eine kleine Drehung des Gestelles von diesem befreien kann. Jetzt sind sie mit ihrem Gestell bereits seit geraumer Zeit so angebracht, daß die Kugeln in ein Gefäß mit siedendem Wasser tauchen und dessen Temperatur angenommen haben. Ferner befindet sich hier eine Scheibe aus weißem Wachs von gleichmäßiger Dicke (4 bis 5 mm) wagerecht und mit ihrem Rand auf einem

Digitized by Google

festen Ringe aufliegend. Nun hebe ich die Kugeln aus dem Wasserbade, entferne durch rasches Betupfen mit Fließpapier die anhängenden Wassertropfen, lege die Kugeln auf die Wachsscheibe und befreie sie durch entsprechendes Drehen von dem Drahtgestell. Die heißen Kugeln beginnen sogleich das Wachs ihrer Umgebung zu schmelzen und langsam einzusinken. Dabei bemerken wir aber, daß die Eisenkugel tiefer als die anderen in das Wachs eindringt und bei dünner Wachsscheibe sogar hindurchfällt, das Kupfer etwas weniger stark wirkt, Zink noch weniger, während Blei und Wismut sogar nur geringe Vertiefungen im Wachs erzeugen. Also: obwohl die Kugeln gleich groß sind und alle fünf gleichmäßig auf die Temperatur des siedenden Wassers erhitzt waren, haben sie doch verschiedene Wachsmengen geschmolzen. Man könnte daran denken, daß die Kugeln bei gleicher Größe verschiedenes Gewicht haben, und daß vielleicht diesem Unterschied der Masse die Schmelzwirkung entspreche. Aber dann müßte die Bleikugel als schwerste von allen auch die stärkste Schmelzung erzeugt haben, und es war doch beinahe umgekehrt. Außer der Größe und Masse der Kugeln muß es also noch eine weitere Eigenschaft geben, welche die verschiedene Wärmeabgabe herbeiführte, denn unser Versuch zwingt uns zu der Annahme, daß die Kugeln bei gleicher Anfangs- und Endtemperatur, also bei Erkaltung um die gleiche Anzahl von Graden, ganz verschiedene Wärmemengen hergaben. Nicht minder verschieden sind natürlich auch diejenigen Wärmemengen, welche man den Kugeln zuführen müßte, um sie von der Temperatur des schmelzenden Wachses auf diejenige des siedenden Wassers zu erwärmen.

Ein anderer Versuch soll uns nun auch zeigen, wie groß die Unterschiede sind, deren Vorhandensein wir eben erkannten. Ich benutze dazu nur zwei Metalle, Kupfer und Blei, beide in Form kleiner Zylinder; sie sind gleich schwer, der Kupferzylinder also etwas größer, und befinden sich seit einer Weile in je einem Probiergläschen, welches in einem größeren Gefäß mit siedendem Wasser steht und oben mit einem Wattebausch verschlossen ist. Die beiden Metallkörper haben nunmehr die Temperatur des siedenden Wassers angenommen, ohne selbst dabei benetzt zu werden. Daneben haben wir hier zwei gleiche Gläschen, welche gleiche Wassermengen und außerdem je ein empfindliches Thermometer enthalten. Nun hole ich die er-

Digitized by Google

hitzten Metallstücke mittels der feinen Drähte, die an ihnen befestigt sind, aus ihren Heizgefäßen und bringe sie in die Wassergläschen, welche bisher Zimmertemperatur hatten. Die Thermometer beginnen zu steigen, und wenn sie nach einiger Zeit zur Ruhe kommen, ist bei dem Kupferzylinder die Temperatur um dreimal soviel Grade gestiegen, wie bei dem Bleizylinder. Soll der Vorgang in allen Teilen unseres Hörsaals sichtbar sein, so kann man statt der Quecksilberthermometer eine Vorrichtung (Fig. 11) benutzen, die etwa dem Luftthermometer gleicht. Dabei ist jedes der beiden Wassergläschen von einem größeren, daran geschmolzenen Glasgefäß *a* umschlossen, welches Luft enthält und in einen Rohrstutzen endet. Von diesem führt ein Schlauch *d* zu einem Glasrohr *e* mit aufwärts gebogenen Enden, welches eine farbige Flüssigkeit enthält und mittels der Projektionslampe auf der Wand vergrößert abgebildet werden kann. Jede Temperaturänderung des Wassergläschens teilt sich dann der umgebenden Luftmasse mit und wirkt durch diese auf die Stellung der Flüssigkeit im Rohr, sobald die Hähne *c* geschlossen sind. Der Verlauf unseres Versuchs lehrt nun, daß gleiche Gewichtsmengen von Kupfer und Blei beim Abkühlen zwischen der gleichen Anfangs- und Endtemperatur verschiedene Wärmemengen hergeben, das Kupfer etwa dreimal soviel, als das Blei. Oder: um gleiche Abkühlung zu erzielen, muß man einem Gramm Kupfer dreimal soviel Wärme entziehen, als einem Gramm Blei; oder umgekehrt: um gleiche Erwärmung zu erzielen, muß man einem

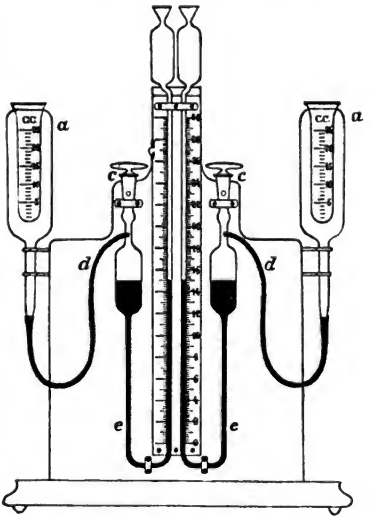


Fig. 11. Thermoskop. (Nach Leybolds Katalog.)

Digitized by Google

Gramm Kupfer dreimal soviel Wärme zuführen, als einem Gramm Blei

Solche Vergleichungen, wie hier zwischen Kupfer und Blei, hat man auch zwischen vielen anderen Körpern ausgeführt; um die Ergebnisse zahlenmäßig auszudrücken, bedurfte man einer Maßeinheit und legte dabei das Verhalten des Wassers zugrunde. Diejenige Wärmemenge, welche einem Kilogramm Wasser zugeführt werden muß, damit seine Temperatur um einen Celsiusgrad steigt, heißt eine Kalorie, und zwar große oder Kilogramm-Kalorie, während man als kleine oder Gramm-Kalorie die entsprechende Wärmemenge bezeichnet, durch welche ein Gramm Wasser um einen Grad erwärmt wird. Dabei ist die Anfangstemperatur des Wassers nicht ganz ohne Einwirkung, und für sehr genaue Angaben unterscheidet man zwischen der „15^0-Kalorie", welche die Gewichtseinheit Wasser bei 15^0 um einen Grad erwärmt, und der „mittleren Kalorie", deren 100 die Gewichtseinheit Wasser von 0 auf 100^0 erwärmen. Der Unterschied beider ist gering, nämlich die 15^0-Kalorie ist um etwa drei Zehntausendstel ihres Betrages größer, als die mittlere Kalorie. In dieser Einheit drücken wir aus, wie leicht oder schwer ein Körper erwärmt und abgekühlt werden kann, und bezeichnen als spezifische Wärme eines Körpers diejenige Anzahl großer Kalorien, welche einem Kilogramm des Körpers zugeführt werden muß, damit seine Temperatur um einen Grad steigt. Demnach ist die spezifische Wärme des Wassers gleich Eins; für mehrere andere feste und flüssige Körper sind die entsprechenden Werte in der nebenstehenden Tabelle enthalten, während von den Gasen erst später die Rede sein soll. Wie leicht ersichtlich, bedeutet große spezifische Wärme eines Körpers, daß er sich schwer erwärmt oder abkühlt; kleine spezifische Wärme bedeutet dagegen, daß der betreffende Körper sich leicht erwärmt oder abkühlt.

Bei der künstlichen Erwärmung und Abkühlung von Massen ist es oftmals nötig, diejenige Wärmemenge zu berechnen, welche für den zu erreichenden Zweck zu- oder fortgeführt werden muß. Nach den folgenden Angaben ist solche Berechnung leicht durchführbar, sofern man nur von demjenigen Körper, dessen Temperatur geändert werden soll, das Gewicht (in Kilogramm) und die spezifische Wärme kennt, denn durch Multiplizieren beider Größen erhält man die Zahl der (großen)

Digitized by Google

Kalorien, welche dem Körper zugeführt oder entzogen werden müssen, damit er um 1^0 wärmer oder kälter wird

Spezifische Wärme
bei etwa 18^0 C.

Aluminium	0,22	Marmor	0,20
Blei	0,030	Basalt	0,20
Eisen	0,11	Beryll	0,20
Gold	0,031	Granit	0,19
Kupfer	0,092	Gneis	0,19
Nickel	0,10	Quarz	0,18
Platin	0,031	Granat	0,17
Quecksilber	0,033	Glas	0,12 bis 0,22
Silber	0,056	Wasser	1,00
Wismut	0,030	Alkohol	0,59
Zink	0,092	Äther	0,54
Zinn	0,054	Anilin	0,51
Messing	0,090	Petroleum	0,51
Neusilber	0,094		

Die gleiche Überlegung läßt erkennen, wie eine Wärmemessung, d. h. die Messung einer Wärmemenge geschehen kann. Wird die Temperatur eines Körpers um eine gewisse Zahl von Graden geändert, so hat man diese Zahl mit dem soeben erwähnten Produkt von Gewicht und spezifischer Wärme zu multiplizieren, um die Wärmemenge zu erhalten, welche dem betrachteten Körper zugeführt oder entzogen wurde.

Auch in der Natur können wir leicht die Bedeutung der spezifischen Wärme erkennen. Unsere vorstehende Tabelle zeigt den größten aller angeführten Zahlenwerte beim Wasser. Sämtliche dort mitgeteilten Zahlen sind kleiner, insbesondere zeigen die Bodenbestandteile (Quarz, Granit usw.) nur etwa ein Fünftel derjenigen spezifischen Wärme, welche das Wasser hat. Der trockene Boden muß sich demnach merklich leichter erwärmen und abkühlen, als die Gewässer, und in der Tat tritt dieser Unterschied ganz deutlich hervor, wenn man einen Vergleich zwischen Binnen- und Seeklima anstellt. Haben zwei Orte gleiche geographische Breite und gleiche Lage (Höhe, Neigung), so darf man annehmen, daß ihnen die gleiche Sonnenwärme zugestrahlt wird. Die Wirkung dieser übereinstimmenden Wärmezuführung ist aber ganz verschieden, falls einer der Orte inmitten trockenen Binnenlandes liegt, der andere an der Küste oder auf einer Insel, denn wo das Wasser seinen Ein-

Digitized by Google

fluß übt, bewirkt es Verminderung der Temperaturschwankungen, und es ist im trockenen Lande der Unterschied zwischen Tag und Nacht, sowie besonders derjenige zwischen Sommer und Winter merklich größer, als an der See. Daß unsere Küsten und Inseln von Sommerhitze viel weniger zu leiden haben, als das Binnenland, ist ja bekannt; entsprechend ist auch die Winterkälte am Meere geringer, als im Innern der Erdteile, und wenn auch ein Teil dieser Verschiedenheit auf Strahlungsvorgängen sowie auf Änderungen des Aggregatzustandes beruht, so ist doch von wesentlichem Einfluß dabei die hohe spezifische Wärme des Wassers. Und diese Verhältnisse kann man über die ganze Erdoberfläche verfolgen. Auf der nördlichen Erdhälfte ist demnach im Januar das Land kalt und die See wärmer, im Juli das Land heiß und die See kühler. Auf der südlichen Erdhälfte findet das Umgekehrte statt, denn dort sind bekanntlich die Jahreszeiten entgegengesetzt den unsrigen.

Aus den vorstehenden Darlegungen dürfte zu entnehmen sein, daß wir die vor unseren Augen stattfindenden Wärmevorgänge nur verstehen können, wenn wir außer den Änderungen der Temperatur auch zugleich die Größe der bewegten Wärmemengen beachten. Haben wir bisher die Wirkungen solcher Wärmebewegung kennen gelernt, so soll nun auch auf ihre Herkunft und Erzeugung, die Quellen der Wärme und der Kälte, eingegangen werden. Unsere mächtigste Wärmequelle ist die Sonne; sie strahlt der Erde soviel Wärme zu, daß eine außerhalb unserer Atmosphäre befindliche Fläche, welche von den Sonnenstrahlen senkrecht getroffen wird, auf jedem Quadratzentimeter in der Minute gegen drei Grammkalorien empfängt. Beim Durchlaufen der Luft wird allerdings ein erheblicher Teil dieser Strahlung zurückgehalten, so daß in mittleren Breiten und bei ganz heiterem Himmel nur etwa die Hälfte der in die Atmosphäre eintretenden Sonnenstrahlung bis zum Boden gelangt, aber dieser Betrag ist immerhin noch so groß, daß die während eines Jahres der Erdoberfläche zugeführte Wärmemenge ausreichen würde, um eine Eisschicht von etwa 50 m Mächtigkeit zu schmelzen. Unter welchen besonderen Erscheinungen diese Strahlung geschieht, und wie die gleiche Wärmemenge durch Ausstrahlung in den Weltenraum von der Erde wieder hergegeben wird, lehrt die Betrachtung der Witterungserscheinungen. Hier wenden wir uns zu der wichtigsten

Digitized by Google

Quelle künstlicher Erwärmung, der Verbrennung. Den Wert eines Brennmaterials bemißt man im wesentlichen nach seiner Heizkraft, d. h. nach derjenigen Wärmemenge, welche durch Verbrennen eines Kilogramm des Materials erlangt werden kann. Einige solche Zahlen sind im folgenden zusammengestellt.

Verbrennungswärme

in großen Kalorien für je 1 kg verbrennender Substanz, beim Leuchtgas für 1 cbm. Bei den Hölzern ist ein Wassergehalt von 12 bis 14 Prozent anzunehmen.

Anthrazit	8400 Kal.	Esche	4155 Kal.
Sinterkohle, gasarm.	8200 „	Hagebuche	4161 „
„ gasreich.	6000 „	Buche, 130jährig .	4168 „
Gasretortenkohle . .	8050 „	„ 100 „ .	4114 „
Holzkohle . 7000 bis	8000 „	„ 60 „ .	4101 „
Koks	6900 „	Birke	4207 „
Braunkohle 4000 bis	7000 „	Tanne	4422 „
Torf . . . . . etwa	7200 „	Fichte	4485 „
Leuchtgas (cbm) . .	5700 „	Alkohol	7070 „
Eichenholz	3990 „		

Der Verbrennungsvorgang, welcher diese Wärmemengen frei werden läßt, ist in Wirklichkeit eine chemische Umsetzung, nämlich eine Vereinigung der verbrennenden Substanz mit dem Sauerstoff der Luft. Daß zum Stattfinden einer Verbrennung Sauerstoff nötig ist, lehren uns mancherlei bekannte Vorgänge. Eine Ofenfeuerung kann nicht brennen ohne den nötigen „Zug", d. h. ohne Luftzufuhr, und wir können nach Belieben eine Flamme stark oder schwach brennen lassen oder auch zum Verlöschen bringen, indem wir den Luftzutritt vermehren oder teilweise oder ganz absperren. Daß aber von den Bestandteilen der Luft nur der Sauerstoff wesentlich für die Verbrennung ist, lehrt die Untersuchung der Verbrennungsprodukte.

Hier stülpe ich über eine brennende Kerze eine Glasglocke, so daß die Flamme von der äußeren Luft völlig abgesperrt ist. Nach kurzer Zeit sehen wir die Kerze immer matter brennen und bald verlöschen. Untersuchen wir die in der Glocke verbliebene Luft, so findet sich von dem ursprünglich vorhandenen Sauerstoff und Stickstoff nur der letztere unverändert vor, und als Ergebnis der Verbrennung Verbindungen des Sauerstoffs mit den Bestandteilen der Kerze.

Digitized by Google

Ferner habe ich hier einen sogenannten Bunsenbrenner, wie er in Laboratorien ganz allgemein verwendet wird. An seinem Fuß befindet sich eine Vorrichtung, durch welche man nach Belieben dem Leuchtgas Luft beimengen kann. Sperre ich die Luft ab und entzünde das dem Brennerrohr entströmende Gas, so brennt es mit leuchtender Flamme; halte ich in diese Flamme einen kalten Gegenstand, z. B. eine weiße Porzellanschale, so zeigt deren Oberfläche alsbald einen schwarzen Belag von Ruß. Es sind demnach in der Flamme unverbrannte Kohleteilchen vorhanden, die sich auf der weißen Fläche ansammeln. Wenn ich nun Luft in den Apparat eintreten lasse und dem Gas vor der Verbrennung beimische, so gewinnt die Flamme sofort ein anderes Aussehen, sie wird fast farblos, leuchtet gar nicht mehr, ist erheblich heißer als vorher, und gibt an die kalte Porzellanfläche keinen Ruß ab. Zum Verständnis dieser Vorgänge erinnern wir uns nochmals, daß die Verbrennung eine Verbindung mit Sauerstoff ist. Zu den wesentlichen Bestandteilen des Leuchtgases gehören Kohlenwasserstoffe, d. h. Verbindungen aus Kohlenstoff und Wasserstoff. Durch die Hitze der Flamme wird ihre Zerlegung eingeleitet, und es verbrennt der Kohlenstoff zu Kohlensäure und der Wasserstoff zu Wasserdampf, sofern nämlich die hierfür erforderliche Sauerstoffmenge vorhanden ist. Denn um in Kohlensäure überzugehen, muß der Kohlenstoff sich mit $^8/_3$ seines Gewichts an Sauerstoff verbinden, und um in Wasserdampf überzugehen, muß der Wasserstoff das Achtfache seines Gewichtes an Sauerstoff zur Verfügung haben. Fehlt es an dem zur völligen Verbrennung nötigen Sauerstoff, so bleibt ein Teil der brennbaren Gasbestandteile unverbrannt, und namentlich enthält dann die Flamme viele feinen Kohleteilchen in weißglühendem Zustande, welche das Leuchten bewirken. Bringt man in solche leuchtende Flamme einen kalten Körper, so bedeckt er sich alsbald mit einer Schicht dieser Kohleteilchen, wie wir es vorher an der Porzellanfläche sahen. Wird dagegen durch Luftzutritt die nötige Sauerstoffmenge der Flamme zugeführt, so tritt vollständige Verbrennung ein, die Flamme enthält keinerlei unverbrannte Bestandteile, sondern nur die gasförmigen Verbrennungsprodukte, sie leuchtet also nicht, und ist, weil nun eine größere Substanzmenge verbrennt, heißer, als sie es vorher ohne Luftzuführung war.

Digitized by Google

Wir haben also gesehen, daß Kohle, Holz, Leuchtgas u. dgl. sich beim Verbrennen mit Sauerstoff verbinden, und daß dabei eine der Menge entsprechende und von der Art des Brennmaterials abhängige Wärmemenge frei wird. Ähnliches geschieht allgemein bei chemischen Umsetzungen, und wenn auch die Verbrennungen für unser tägliches Leben von besonders hoher Bedeutung sind, bilden sie doch nur einen besonderen Fall der allgemeinen Regel, daß die Entstehung ebenso wie der Zerfall chemischer Verbindungen stets von Wärmebewegungen begleitet ist. Entweder wird dabei Wärme frei (wie bei der Verbrennung von Kohle), oder es wird Wärme verbraucht (wie wir es bei den Kältemischungen sogleich sehen werden), und man bezeichnet diese beiden Fälle als positive und negative Wärmetönung.

Einige Beispiele mögen zur Erläuterung dienen.

Betrachten wir zunächst nochmals den Kohlenstoff; im reinen Zustande kommt er bekanntlich als Graphit vor. Wenn wir nun 1 kg Graphit (C) haben und wollen es mit Sauerstoff (O) verbinden, so können wir entweder die erforderliche Menge von $^8/_3$ kg Sauerstoff sogleich verwenden und den Graphit zu Kohlensäure (CO_2) verbrennen, wobei eine Wärmemenge von 7800 großen Kalorien frei wird. Oder wir können zunächst nur die halbe Sauerstoffmenge von $^4/_3$ kg bei der Verbrennung anwenden, wobei unter Freiwerden von 2100 Kalorien Kohlenoxyd (CO) entsteht; und dieses erste Verbrennungsprodukt können wir durch nochmalige Verbindung mit neuen $^4/_3$ kg Sauerstoff zu Kohlensäure (CO_2) werden lassen, wobei jetzt 5700 Kalorien frei werden. Die gesamte Wärmewirkung bei der Überführung eines Kilogramm Graphit in Kohlensäure ist beidemal gleich.

Anders verläuft die Sache, wenn wir Stickstoff (N) mit Sauerstoff (O) verbinden. Auch hier können wir 1 kg Stickstoff zuerst gleich mit $^{16}/_7$ kg Sauerstoff zu Stickstoffperoxyd (NO_2) vereinigen; dabei tritt aber nicht Wärme auf, sondern Kälte, es werden 143 große Kalorien verbraucht (der Umgebung entzogen). Wollen wir nicht auf einmal die ganze Umsetzung stattfinden lassen, so können wir zuerst nur $^4/_7$ kg Sauerstoff mit dem 1 kg Stickstoff verbinden, und beide werden dann zu Stickstoffoxydul (N_2O) unter Verbrauch von 654 Kalorien; dann fügen wir nochmals $^4/_7$ kg Sauerstoff hinzu, wobei sich

Digitized by Google

Stickstoffoxyd (NO) unter Verbrauch von weiteren 887 Kalorien bildet; endlich verbinden wir dies mit noch $^8/_7$ kg Sauerstoff, und es entsteht Stickstoffperoxyd (NO_2), wobei aber jetzt Wärme im Betrage von 1398 Kalorien frei wird. Ausgehend von 1 kg Stickstoff sahen wir also in drei Stufen entstehen:

Stickstoffoxydul (N_2O) mit einer Wärmetönung von -654 Kal.
Stickstoffoxyd (NO) „ „ „ „ -887 „
zusammen -1541 Kal.
Stickstoffperoxyd (NO_2) mit einer Wärmetönung von $+1398$ „
insgesamt $-\ 143$ Kal.

d. h. ebensoviel, wie bei der sofortigen Bildung des Stickstoffperoxyds (NO_2).

Nicht minder interessant ist die Entstehung gasförmiger Kohlenwasserstoffe aus der Verbindung festen Kohlenstoffs (C) mit gasförmigem Wasserstoff (H). Es verbindet sich 1 kg Kohlenstoff

mit $^1/_{12}$ kg Wasserstoff zu Azetylen (C_2H_2) unter Wärmetönung -2008 Kal.
„ $^1/_6$ „ „ „ Äthylen (C_2H_4) „ „ -112 „
„ $^1/_4$ „ „ „ Äthan (C_2H_6) „ „ $+1192$ „
„ $^1/_3$ „ „ „ Methan (CH_4) „ „ $+1812$ „

Einige weitere Beispiele solcher Wärmetönung sind folgende:

1 kg Wasserstoff (H) verbindet sich mit 8 kg Sauerstoff (O) zu Wasser (H_2O), und zwar entsteht

entweder Wasserdampf unter Wärmetönung $+29050$ Kal.
oder flüssiges Wasser „ „ $+34500$ „
oder Eis „ „ $+35200$ „

1 kg Wasserstoff (H) verbindet sich mit 35,5 kg Chlor (Cl) zu gasförmigem Chlorwasserstoff (HCl) unter Wärmetönung $+22000$ Kal.

1 kg Chlor (Cl) verbindet sich mit 0,225 kg Sauerstoff (O) zu Chlormonoxyd (Cl_2O) unter Wärmetönung $-252{,}2$ Kal.

Neben der Wärmetönung dieser in festen Mengenverhältnissen geschehenden Verbindungen ist ferner die Verdünnungs- und Lösungswärme zu nennen. Dahin gehört z. B. die Erhitzung der Schwefelsäure beim Hinzufügen von Wasser. Wird 1 kg Schwefelsäure (H_2SO_4) mit Wasser (H_2O) verdünnt, so beträgt die Wärmetönung

Digitized by Google

bei Hinzufügung von	0,18 kg	Wasser	+ 65	Kal.
„ „ „	0,55 „	„	+ 114	„
„ „ „	3,5 „	„	+ 166	„
„ „ „	18,2 „	„	+ 172,5	„

Wird 1 kg Kochsalz (NaCl) in 30,8 kg Wasser (H_2O) gelöst, so tritt unter entsprechendem Sinken der Temperatur eine Wärmetönung von — 20,5 Kal. auf.

Solche Zusammenstellungen von Substanzen, bei deren Verbindung ein erheblicher Wärmeverbrauch stattfindet, bezeichnet man als Kältemischungen und bedient sich ihrer vielfach zum Erzielen niederer Temperaturen. Denn indem der Lösungsvorgang Wärme verbraucht, wird aus der Umgebung die erforderliche Wärme herangezogen, solange die Gegenstände der Umgebung noch wärmer sind, als die Kältemischung selbst. Bei der praktischen Anwendung hat man zu unterscheiden, ob der Zweck des Verfahrens in der Erreichung möglichst tiefer Temperaturen besteht, oder in der Abkühlung großer Massen um wenige Grade, und je nachdem die eine oder andere dieser Aufgaben vorliegt, wird man die Kältemischung verschieden wählen. Wird beispielsweise Kälte durch Lösen von Ammoniumnitrat in Wasser von 15° erzeugt, so würde man, um eine recht tiefe Temperatur hervorzubringen, 1 kg des Nitrats mit 1,31 kg Wasser mischen; dann sinkt während des Lösens die Temperatur bis — 17,5, es werden aber nur 2,3 Kal. verbraucht und der Umgebung entzogen. Wenn dagegen die Abkühlung großer Massen bezweckt wird, nimmt man 0,85 kg Wasser, sieht die Temperatur nur bis 0° sinken, aber unter Verbrauch von 32,9 Kal.; und mit 0,75 kg Wasser sinkt die Temperatur sogar nur bis 5° unter Verbrauch von 38 Kal. Stärker wird der Wärmeverbrauch, wenn man statt des Wassers zerkleinertes Eis oder Schnee verwendet, weil dann auch noch der zum Schmelzen gehörende Wärmebetrag verbraucht wird. Würden statt der eben genannten Wassermengen die gleichen Gewichtsbeträge von Schnee verwendet, so wären die erreichten niederen Temperaturen die gleichen, aber der Wärmeverbrauch größer. Dieser beträgt beim Zusammenbringen eines Kilogramm Ammoniumnitrat

mit 0,85 kg	Schnee	119,2	Kal.
„ 1,31 „	„	131,9	„
„ 7,82 „	„	675	„

Digitized by Google

Im letzteren Falle würde die Temperatur nur bis — 4° sinken.

Ähnliche Betrachtungen kann man an die Kältemischung Schwefelsäure-Schnee knüpfen. Mit Wasser gibt die Schwefelsäure, wie eben erwähnt, eine positive Wärmetönung; mischt man sie mit Schnee, so tritt Abkühlung und Wärmeverbrauch ein, und zwar wird mit wachsender Schneemenge die Abkühlung geringer und der Wärmeverbrauch größer. Mischt man 1 kg 66,2prozentiger Schwefelsäure ($H_2SO_4 + 2{,}87\ H_2O$) mit 1,1 kg Schnee, so sinkt die Temperatur des Gemisches bis — 37°; inzwischen ist aller Schnee geschmolzen und Wärme weder entstanden noch verbraucht. Nimmt man 3,5 kg Schnee, so sinkt die Temperatur bis — 27°, steigt dann, bis aller Schnee geschmolzen, auf — 8,6°, und dabei werden 213 Kal. verbraucht. Bei 13,1 kg Schnee sinkt die Temperatur nur bis — 16° und steigt bis zum Schmelzen des Schnees auf — 2,1° unter Verbrauch von 967 Kal.

Einige andere Beispiele von Kältemischungen samt den mit ihren erreichbaren Temperaturen sind:

Kochsalz mit dem dreifachen Gewicht Schnee: — 21°,
Alkohol mit etwa dem gleichen Gewicht Schnee: — 30°,
Feste Kohlensäure mit Äther: — 77°,
„ „ „ schwefliger Säure: — 82°.

Von diesen auf chemischen Vorgängen beruhenden Quellen der Wärme und Kälte wenden wie uns nunmehr zu den Beziehungen, welche zwischen Wärme und mechanischer Arbeit bestehen, und betrachten zunächst die vorher ausgelassene spezifische Wärme der Gase. Um diese Größe für Luft zu bestimmen, können wir auf zweierlei Arten verfahren. Entweder wir bringen in ein mit Wasser gefülltes Gefäß ein dünnwandiges und in vielen Windungen schlangenförmig gebogenes Metallrohr, erhitzen in einem anderen abgeschlossenen Gefäß die zu untersuchende Luft auf eine gemessene hohe Temperatur und treiben sie dann durch das Schlangenrohr so langsam hindurch, daß sie beim Austritt die gleiche Temperatur hat, wie das umgebende Wasser. Wenn wir Menge, Anfangs- und Endtemperatur des Wassers kennen, ist es nicht schwer, zu berechnen, wie viele Kalorien das Wasser aufgenommen hat. Ebensoviel hat natürlich die hindurchgetriebene Luft abgegeben, und wenn wir auch

Digitized by Google

deren Menge, Anfangs- und Endtemperatur kennen, so ergibt sich leicht ihre spezifische Wärme, d. h. diejenige Wärmemenge, die einem Kilogramm Luft zugeführt oder entzogen werden muß, damit seine Temperatur um 1^0 steigt oder sinkt.

Zweitens können wir die gleiche Größe auch noch auf folgende Weise bestimmen. Wir füllen mit der zu untersuchenden Luft ein von starren Wänden begrenztes und dicht verschlossenes Gefäß, erhitzen es samt Luftinhalt und werfen es dann in kühleres Wasser, dessen Menge, Anfangs- und Endtemperatur uns auch diesmal angeben, wie viel Wärme das Luftgefäß mit Inhalt bei seiner Abkühlung hergab. Die gleiche Bestimmung wiederholen wir dann mit dem jetzt völlig geöffneten Luftgefäß in der Weise, daß nur das erhitzte Gefäß allein und keine Luft in das kühlere Wasser gebracht wird. Durch Vergleichen beider Messungen berechnen wir als Differenz die Wärmemenge, welche die eingeschlossene Luft allein beim Abkühlen hergab, und entnehmen aus ihrer Menge, Anfangs- und Endtemperatur wiederum einen Wert für die spezifische Wärme der Luft.

Die letztere Bestimmung wird mit den üblichen Apparaten und Methoden nicht sehr genau durchzuführen sein. Wenn wir aber auch die denkbar größte Genauigkeit annehmen, so fallen die beiden Messungen doch ganz verschieden aus, die erste Bestimmung liefert uns im Vergleich zur zweiten ein fast um die Hälfte größeres Ergebnis. Der Grund zu dieser auffälligen Abweichung kann nur in der Verschiedenheit des Verfahrens gesucht werden und ist in der Tat leicht anzugeben. Bei der ersten Messung befand sich die untersuchte Luft stets unter Atmosphärendruck, konnte sich beliebig ausdehnen oder zusammenziehen und in jedem Augenblick denjenigen Raum ausfüllen, welcher ihrer jeweiligen Temperatur entsprach. Bei der zweiten Messung dagegen war die untersuchte Luftmenge in ein starres Gefäß eingeschlossen und an dessen Rauminhalt gebunden, ohne sich auszudehnen oder zusammenzuziehen. Die Ergebnisse der beiden Messungen haben demnach verschiedene Bedeutung und werden bezeichnet als spezifische Wärme *bei konstantem Druck* oder *bei konstantem Volumen*; man kann auch dafür sagen: mit Ausdehnung oder ohne Ausdehnung. Nun ist der erstere dieser Werte, nämlich die spezifische Wärme der Luft bei konstantem Druck und mit Ausdehnung, größer als der andere.

Digitized by Google

Zur bloßen Temperaturerhöhung einer Luftmasse ohne Ausdehnung gehört also eine gewisse Wärmemenge; wenn die Luft sich außerdem auch noch ausdehnt, gehört dazu noch eine weitere Wärmemenge, welche etwa $^4/_{10}$ der vorigen ausmacht. Einige Zahlen für verschiedene Gase seien hier zunächst angeführt.

Spezifische Wärme bei konstantem Druck (mit Ausdehnung) bei etwa 18°.

Luft	0,24	Stickstoff	0,24
Sauerstoff	0,22	Kohlenoxyd	0,24
Wasserstoff	3,41	Kohlensäure	0,19

Das Verhältnis dieser Zahl zur spezifischen Wärme bei konstantem Volumen (ohne Ausdehnung) beträgt bei den meisten Gasen sehr nahe 1,4. Die auf S. 25 angegebenen Werte der spezifischen Wärme fester und flüssiger Körper sind mit den vorstehenden Zahlen insofern vergleichbar, als sie ebenfalls mit Ausdehnung gemessen wurden.

Wenn nun also das Zustandekommen der Ausdehnung einen gewissen Wärmeverbrauch bedingt, so liegt es nahe, auch hier zahlenmäßige Beziehungen aufzusuchen. Den Wärmeverbrauch durch die Zahl der nötigen Kalorien auszudrücken, ist nach dem Vorausgegangenen leicht; die Ausdehnung werden wir als Arbeitsleistung ebenfalls messen und den entsprechenden Betrag genau angeben können. Um dies auszuführen, betrachten wir das Verhalten eines Kubikmeters Luft, welcher in einem würfelförmigen Kasten von 1 m Seitenlänge eingeschlossen ist. Die sechs Flächen dieses Kastens sind Quadrate von je 1 qm Größe; drei von ihnen, nämlich die obere, vordere und rechte, seien senkrecht zur eigenen Ebene verschiebbar, so daß, wenn die innen befindliche Luft sich ausdehnt, diese drei Seitenflächen nach außen hin nachgeben können. Dabei müßten sie aber den Luftdruck überwinden, welcher auf ihrer Außenseite lastet und auf jeder dieser Flächen eine Kraft von 10332,5 kg betätigt.

Wird die eingeschlossene Luft um 1° erwärmt, so dehnt sie sich nach S. 12 um 0,003670 ihres Raumgehalts und demnach in jeder der drei Kantenrichtungen um ein Drittel dieses Betrages aus; dann werden also die drei beweglichen Flächen jede um 0,001223 m nach außen verschoben, und zwar unter Überwindung des eben angegebenen äußeren Drucks. Die

Digitized by Google

hierbei geleistete Arbeit wird gemessen durch das Produkt aus der wirksamen Kraft (gleich dem zu überwindenden Druck) und dem zurückgelegten Weg, und demnach in Kilogrammetern ausgedrückt, d. h. in derjenigen Arbeitsmenge, welche erforderlich ist, um 1 kg auf die Höhe eines Meters zu heben. Für jede der drei Würfelflächen beträgt diese Arbeit $10332{,}5 \times 0{,}001223$, insgesamt also 37,920 kgm.

Dieser Arbeit entspricht die bei der Ausdehnung verbrauchte Wärmemenge. Aus den auf voriger Seite mitgeteilten Zahlen geht hervor, daß einem Kilogramm Luft, welches sich mit Ausdehnung um 1^0 erwärmen soll, 0,24 Kal. zugeführt werden müssen. Geschieht die Erwärmung ohne Ausdehnung, so sind nur $0{,}24/1{,}4 = 0{,}1714$ Kal. erforderlich. Für die bloße Ausdehnung eines Kilogramm Luft beim Erwärmen um 1^0 wird also die Wärmemenge 0,0686 Kal. verbraucht, und da 1 cbm Luft unter gewöhnlichen Verhältnissen (mittlerer Barometerstand und 0^0) 1,293 kg wiegt, so beträgt diejenige Wärmemenge, welche unser Luftwürfel zur Ausdehnung verbraucht,

$$1{,}293 \times 0{,}0686 = 0{,}887 \text{ Kal.}$$

Diese Wärmemenge ist gleichwertig mit der oben berechneten Arbeitsmenge von 37,920 kgm, und demnach ist eine große Kalorie gleichwertig mit etwa 427 Kilogrammetern. Man pflegt diesen Betrag als *mechanisches Äquivalent der Wärme* zu bezeichnen.

Die vorstehenden Überlegungen haben uns zu der sehr wichtigen Erkenntnis geführt, daß zwei scheinbar so verschiedene Dinge, wie Wärme und mechanische Arbeit, miteinander vergleichbar sind und in einem festen, zahlenmäßig ausdrückbaren Wertverhältnis stehen. Ähnlich besteht zwischen Markstücken und Kronen ein bestimmtes Wertverhältnis, und wie jede der beiden Münzsorten dazu dienen kann, um eine beliebige Geldsumme auszudrücken, so können Kilogrammeter und Kalorien zum Ausdruck jeder beliebigen *Energiemenge* benutzt werden. Dabei fassen wir unter dem Begriff Energie alle die verschiedenen Formen zusammen, in welchen die *Fähigkeit, Arbeit zu leisten*, uns entgegentritt, und deren zwei als Wärme und mechanische Arbeit uns soeben beschäftigen. Markstücke und Kronen aber können gemäß dem Zahlenverhältnis ihres Wertes ineinander umgewechselt werden; daß auch Kilogrammeter und

Digitized by Google

Kalorien ineinander umgewechselt, Wärme in mechanische Arbeit und umgekehrt verwandelt werden kann, darf bereits aus unserer Betrachtung des sich ausdehnenden Luftwürfels gefolgert werden. Denn indem die Luft sich beim Erwärmen ausdehnt und hierfür Wärme verbraucht, wird diese Wärmemenge in die Ausdehnungsarbeit umgesetzt. Und indem umgekehrt die Luft sich beim Abkühlen zusammenzieht, muß ihr eine entsprechende Wärmemenge entzogen werden, welche mit der beim Zusammenziehen gewonnenen Arbeitsfähigkeit gleichwertig und aus ihr entstanden ist.

Wenn nun aber von außen her einer Luftmasse weder Wärme zugeführt noch entzogen wird, so muß jede Änderung ihres Volumens mit einer entsprechenden Temperaturänderung verbunden sein. Um dies zu erkennen, denken wir uns einen festen Zylinder, an einem Ende geschlossen, und in ihm verschiebbar einen dicht anliegenden Kolben, der eine darin enthaltene Luftmasse abschließt. Heben wir den Kolben, so daß der Luft ein größerer Raum als bisher geboten wird, so füllt sie diesen alsbald aus, und weil zu solcher Ausdehnung Wärme verbraucht, aber nicht von außen herzugeführt wird, so verbraucht die Luft dazu einen Teil ihrer eigenen Wärme und wird um ebensoviel kälter, als wenn statt der Ausdehnung ihr die entsprechende Wärmemenge entzogen wäre. Wird umgekehrt der Kolben in den Zylinder hineingepreßt und die eingeschlossene Luft auf einen kleineren Raum als bisher gebracht, so müßte, um die Temperatur unverändert zu halten, der Luft eine gewisse Wärmemenge entzogen werden; da dies nicht geschieht, vermehrt die eingeschlossene Luft ihre eigene Wärme, und ihre Temperatur steigt um ebensoviel, als wenn statt der Zusammendrückung ihr die entsprechende Wärme zugeführt wäre. Diese beim Zusammendrücken und beim Ausdehnen von Gasen stattfindenden Temperaturänderungen nennt man dynamische Erwärmung und dynamische Abkühlung.

Einige Versuche werden uns die Erscheinung anschaulicher machen. Hier habe ich ein pneumatisches Feuerzeug (Fig. 12), nämlich einen starkwandigen, an einem Ende geschlossenen Glaszylinder, in welchen ein mit Lederscheiben gedichteter Kolben genau hineinpaßt. Ich befestige ein Stückchen Feuerschwamm an der Unterseite des Kolbens, bestreiche diesen mit Öl, damit er glatt und doch dicht im Glaszylinder ver-

Digitized by Google

schiebbar ist, und bringe ihn in die Bohrung. Wenn ich jetzt rasch und kräftig den Kolben hineinstoße, so sehen wir es im Innern aufleuchten und bemerken beim Herausholen des Kolbens, daß der Schwamm glimmt. Das starke Zusammendrücken der eingeschlossenen Luft war von so großer dynamischer Erwärmung

Fig. 12. Pneumatisches Feuerzeug. (Nach Bremer, Leitfaden der Physik.)

begleitet, daß die Entzündungstemperatur des Schwammes erreicht wurde. Zum sicheren Gelingen des Versuchs ist es zweckmäßig, Sauerstoff statt der Luft in das Rohr zu bringen. Es genügt indessen auch die Anwendung viel geringerer Druckänderungen, um deutliche dynamische Temperaturwirkungen zu erzielen. Dazu diene uns diese Flasche von etwa 1 Liter Inhalt (Fig. 13), durch deren Stopfen ein mit Glashahn verschließbares Rohr gesteckt ist. Durch Blasen mit dem Munde verdichte ich die innere Luft, schließe den Hahn und lasse nun zunächst die Temperatur zwischen innen und außen sich ausgleichen. Nachdem dies geschehen, öffne ich den Hahn, wir hören mit leisem Zischen die überschüssige Luft herausströmen und warten, bis im Innern der Atmosphärendruck sich hergestellt hat. Die in der Flasche verbliebene Luft erfüllte vorher nur einen Teil des Innenraumes, während sie jetzt die ganze Flasche füllt, sie hat sich also beim Öffnen des Hahnes ausgedehnt und dynamisch abgekühlt. Daß sie nun kälter als ihre Umgebung ist und von außen Wärme empfängt, sehen wir, sobald ich die Flasche gleich einem Luftthermometer wirken lasse und durch einen Schlauch mit dem einen Ende des gebogenen Rohres verbinde, das uns bei der Untersuchung der spezifischen Wärme bereits gedient hat (Fig. 11 S. 23). Die gefärbte Flüssigkeit in dieser Röhre setzt sich sogleich in Bewegung und zeigt uns, daß in der Flasche die Temperatur steigt. Mit einer zweiten Flasche gleicher Art stellen wir nun den umgekehrten Versuch an. Durch

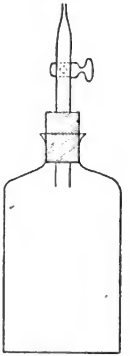


Fig. 13. Flasche zur dynamischen Erwärmung und Abkühlung. (Nach Bremer, Leitf. der Physik.)

Digitized by Google

Saugen entferne ich einen Teil der Luft aus der Flasche, warte bei geschlossenem Hahn, bis die Temperatur zwischen innen und außen sicher ausgeglichen ist, und öffne dann den Hahn. Nachdem soviel Luft eingetreten ist, daß auch im Innern Atmosphärendruck herrscht, überzeugen wir uns leicht davon, daß die innere Luft infolge der eben geschehenen Druckzunahme dynamisch erwärmt ist und nun an ihre kühlere Umgebung Wärme abgibt. Ich verbinde zu diesem Zweck die geöffnete Flasche durch einen Schlauch mit der zweiten gebogenen Röhre unseres Thermoskops, und wir erkennen an der sofort beginnenden Bewegung der gefärbten Flüssigkeit, daß die in dieser Flasche befindliche Luft sich abzukühlen im Begriff ist.

Die gleichen Vorgänge finden überaus häufig in der Atmosphäre statt und sind von großer Bedeutung für die Witterungserscheinungen. Wird nämlich irgend ein Stück des Erdbodens über die Temperatur der Umgebung erwärmt, so teilt sich auch der unmittelbar darüber liegenden Luft die Temperaturerhöhung mit, und weil nun hier die Luft wärmer und also leichter ist, als ringsum, so beginnt sie aufzusteigen. Dabei steht sie an jeder Stelle unter der Last derjenigen Luftsäule, welche über dieser Stelle sich befindet, und gelangt im Emporsteigen unter immer geringeren Druck. Hiermit ist eine beständige Ausdehnung und eine dynamische Abkühlung verbunden, welche auf je 100 m Höhenzunahme gerade 1^0 C beträgt, und aus welcher die Begrenzung der Steighöhe folgt. Denn es steigt natürlich die Luft nur so lange, als ihre Temperatur über derjenigen der jeweiligen Umgebung liegt, und das Steigen hört dort auf, wo die umgebende Luft gerade so warm ist, wie die aufgestiegene. Welche Höhen auf solche Art erreicht werden, hängt sowohl von der Anfangstemperatur der aufsteigenden Luft ab, wie auch von der Temperaturverteilung in der ruhenden Umgebung. Abgesehen von gewissen Ausnahmezuständen zeigt die Temperatur der ruhenden Luft nach oben hin regelmäßige Abnahme, welche z. B. für Berlin in den untersten 1000 m durchschnittlich 4^0, auf je 100 m also $0{,}4^0$ beträgt. Demnach sinkt in der aufsteigenden Luft die Temperatur viel rascher, als in ihrer Umgebung, und der aufsteigende Strom vermag nur begrenzte Höhen zu erreichen. Immerhin wird aber die in dynamischer Abkühlung begriffene Luft ihrer Sättigung (von welcher später ausführlich die Rede sein soll) näher geführt

Digitized by Google

und kann bei entsprechend großem Feuchtigkeitsgehalt bis zur Kondensation gelangen, d. h. bis zur Bildung von Nebel und Wolken. So ist also der aufsteigende Luftstrom die weitaus häufigste Veranlassung zur Wolkenbildung und bei stärkerem Auftreten auch zur Entstehung von Regen und Schnee.

Die Umkehrung dieser Betrachtung führt uns zur örtlichen Abkühlung von Luftmassen, woraus dann absteigende Ströme mit dynamischer Erwärmung entstehen. Ihr Auftreten hindert die Kondensation der Luftfeuchtigkeit und bringt etwa vorhandene Wolken zur Verdampfung, ist also von klarem Himmel begleitet.

Nicht immer sind Vorgänge dieser Art auf Verschiedenheit der Temperatur zurückzuführen. Wenn der Wind gegen ein Gebirge weht und die Luftmassen also auf einer Seite hinauf-, auf der anderen hinabführt, wird auch hierdurch dynamische Abkühlung und Wolkenbildung auf der Windseite, dynamische Erwärmung und Verdampfen der Wolkentröpfchen auf der Leeseite hervorgerufen. So entsteht die bekannte Wolkenkappe zahlreicher Berge, welche stets dann auftritt, wenn die aufsteigende Luft Feuchtigkeit genug enthält, um beim Aufsteigen bis zum Berggipfel die Sättigung zu erreichen.

Für die gegenseitige Ersetzbarkeit von Wärme und mechanischer Arbeit bietet das tägliche Leben mancherlei Beispiele. So kann ein Schmied durch bloße Hammerschläge ein auf dem Amboß liegendes Stück Metall heiß machen. Die Bewegung des Hammers wird beim Auftreffen gehemmt, seine Wucht hört auf, Bewegungsenergie zu sein und verwandelt sich in Wärme. Ganz das nämliche geschieht in kleinem Maßstabe und an vielen Stellen bei der Reibung, denn sie besteht im Zusammenstoßen der kleinen Unebenheiten, welche sich auf den Oberflächen der aneinander bewegten Körper befinden. Bei allen diesen kleinen Stößen wird Bewegungsenergie verbraucht und in Wärme umgesetzt, und je nachdem die Reibung zwischen rauhen oder glatten Körpern stattfindet, ist die Zahl der Stöße groß oder gering, wird mehr oder weniger Arbeit durch sie in Anspruch genommen, mehr oder weniger Wärme erzeugt. Bekanntlich dient bei Naturvölkern die Reibung zweier Holzstücke zum Gewinnen von Feuer. Chamisso erzählt, daß er gelegentlich seiner 1815—18 unternommenen Erdumsegelung ein solches Verfahren auf den Aleuten gefunden habe. Ein Tannenholz-

Digitized by Google

stab wird mit einem Ende gegen ein anderes Stück Tannenholz gedrückt und mittels einer Schnur in rasche Drehung versetzt; die entstehende Reibungswärme gibt in wenigen Sekunden Feuer.

Der folgende Versuch soll uns die Wärmewirkung der Reibung zeigen. Am Ende dieser Kurbel ist ein kurzer hohler Stahlstab so befestigt, daß ich den Stab zwischen entsprechend geschnittene Korkstücke klemmen und mittels der Kurbel herumdrehen kann. Vorher habe ich die Höhlung des Stabes mit Äther gefüllt und in die Öffnung einen gut schließenden Stopfen gesteckt. Wenn ich nun den Stahlzylinder zwischen den zusammengedrückten Korkstücken drehe, so wird durch die Reibung Wärme erzeugt, und die Ätherfüllung erlangt nach einiger Zeit so hohe Temperatur, daß sie zu sieden beginnt und den Stopfen mit einem Knall fortschleudert. Um den Vorgang im ganzen Hörsaal sichtbar zu machen, habe ich vor den Stopfen ein kleines Gefäß mit brennendem Spiritus gestellt, dessen schwachbläuliche Flamme aus der Entfernung kaum sichtbar ist; sobald der Stopfen herausgetrieben wird, folgt ihm der Ätherdampf und entzündet sich mit weithin sichtbarer Flamme.

Fig. 14. Apparat von Joule zur Bestimmung des mechan. Wärmeäquivalents. (Nach Wüllner Band II.)

Wenn wir hierbei die aufgewendete Arbeit (in Kilogrammetern) und die erzeugte Wärme (in Kalorien) messen, so ergibt sich als Verhältnis beider wiederum ein Zahlenwert für das bereits oben (S. 35) berechnete mechanische Wärmeäquivalent. Die Ausführung geschieht aber zweckmäßiger mittels einer Vorrichtung, in welcher die Reibung zwischen festen und flüssigen Körpern stattfindet.

Ein solcher Apparat ist in Fig. 14 dargestellt; eine Achse ist bei *c* in einen Metallkasten eingeführt und trägt innen eine Anzahl Flügel *a*, während sich im Innern des Kastens feststehende Arme *b* befinden Um einen auf der Achse sitzenden Zylinder *d* ist eine Schnur gewickelt und kann am freien Ende mit einem Gewicht belastet werden. Man füllt den Kasten mit Flüssigkeit und läßt durch das an der Schnur herabsinkende Gewicht die Achse drehen. Durch die im Innern des Kastens stattfindende Reibung wird Wärme erzeugt, deren Betrag aus

Digitized by Google

der Temperaturerhöhung sowie aus Gewicht und spezifischer Wärme der Apparatteile und der Füllung leicht zu berechnen ist; die aufgewendete mechanische Arbeit ergibt sich aus der Schwere des herabsinkenden Gewichts und dem Weg, um welchen es gesunken ist. Das Verhältnis beider Größen ist dann das mechanische Äquivalent der Wärme.

Ein anderer Apparat, welcher neuerdings für den gleichen Zweck benutzt wird, ist in Fig. 15 dargestellt. Im Innern einer als Wärmeschutz dienenden Metallhülle *PP* befindet sich eine 60 cm lange und 4,5 cm weite Messingröhre, welche ein zylindrisches Bleigewicht *U* von über 4 kg Schwere enthält und im übrigen mit Maschinenöl gefüllt ist. *FF* sind Fenster, die in das Innere zu blicken erlauben, *a* und *b* Thermometer. Das Ganze ist in einem geeigneten Gestell derart angebracht, daß der Apparat um die Achse *QQ* mittels der Doppelkurbel gedreht werden kann. Wenn im Anfang des Versuchs das Bleigewicht unten liegt und durch eine rasche Drehung nach oben gebracht wird, sinkt es langsam durch das Öl herab, während ein gleiches

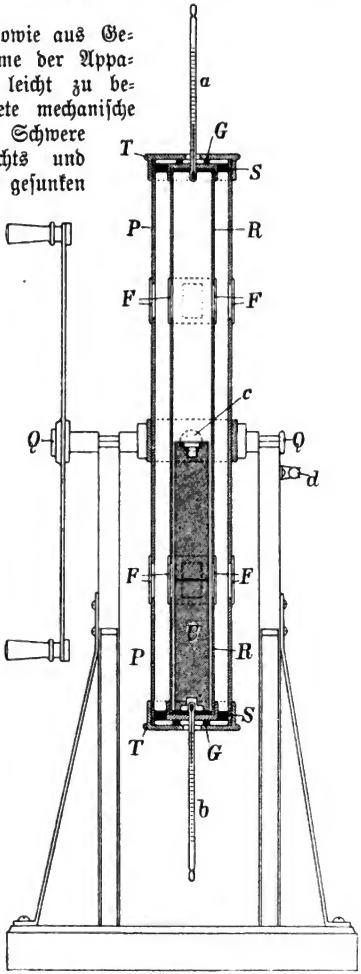


Fig. 15. Apparat von Rubens zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents. (Nach Verh. d. D. Phys. Gesellschaft 1906.)

Digitized by Google

Volumen Öl um ebensoviel emporsteigt. Die Differenz der beiden Gewichte (Blei weniger Öl) multipliziert mit der Fallhöhe ergibt die mechanische Arbeit, mit welcher die gleichzeitig durch Reibung erzeugte Wärmemenge gleichwertig ist. Ist bei einmaliger Handhabung die Wirkung auch nur klein, so kann sie durch Wiederholen beliebig gesteigert werden und zur Auswertung der gesuchten Verhältniszahl von Wärme und mechanischer Arbeit führen.

Als Ergebnis solcher Messungen hat man gefunden, daß das mechanische Äquivalent für eine Kilogrammkalorie gleich 427 Kilogrammetern zu erachten ist.

III. Kapitel.

Schmelzen und Erstarren.

Wir wenden uns nunmehr zu einer besonderen Gruppe von Erscheinungen, die man als *Änderungen des Aggregatzustandes* zu bezeichnen pflegt. Als Einleitung soll uns ein einfacher Versuch dienen, dessen Verlauf uns allen wohl schon bekannt sein dürfte. In ein Gefäß bringe ich ein Gemisch von Wasser und Eis und bestimme die Temperatur, sobald das eingesetzte Thermometer einen festen Stand eingenommen hat. Wir finden 0^0 und sehen diese Temperatur solange unverändert bleiben, als noch in dem Gefäß sowohl Eis als Wasser vorhanden ist. Führen wir solange Wärme hinzu, bis das Thermometer zu steigen beginnt, so ist das Eis geschmolzen und nur noch Wasser da. Entziehen wir dagegen dem Gefäß soviel Wärme, daß das Thermometer unter 0^0 zu sinken beginnt, so ist inzwischen alles Wasser gefroren und nur noch Eis vorhanden. Daraus entnehmen wir die besondere Bedeutung der Nullgrad-Temperatur für das Wasser: nur bei dieser Temperatur kann es sowohl fest als flüssig bestehen, darunter ist es fest, darüber flüssig. Den gleichen Versuch können wir mit Paraffin oder mit Blei anstellen und würden dann bei 46^0 oder bei 327^0 C die Grenztemperatur finden, welche derjenigen von Wasser bei 0^0 entspricht. Ganz allgemein hat jeder Körper einen solchen *Schmelz- oder Erstarrungspunkt*, d. h. eine Temperatur, bei welcher allein es ihm mög-

Digitized by Google

lich ist, sowohl fest als flüssig zu bestehen, und die für ihn so charakteristisch ist, daß man daran die verschiedenen Substanzen zu erkennen und zu unterscheiden vermag. Einige solche Zahlen sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Schmelztemperaturen in Celsiusgraden.

Platin	1780°	Paraffin	46°
Eisen, rein	1600	Phosphor	44
Gußeisen	1200	Cäsium	26
Gußstahl	1375	Eis	0
Nickel	1484	Quecksilber	— 39
Kupfer	1065	Argon	— 188
Silber	962	75 Gewichtsteile Kupfer + 25 Gewichtsteile Zink (Messing)	970
Aluminium	657		
Zink	419	32,7 Gewichtsteile Kupfer + 67,3 Gewichtsteile Zink (Messing)	804
Blei	327		
Kadmium	322		
Wismut	269	61,6 Gewichtsteile Kupfer + 38,4 Gewichtsteile Zinn (Bronze)	660
Zinn	232		
Schwefel, moorklin	119		
„ rhombisch	115		
Wachs	63		

Bemerkenswert sind einige aus verschiedenen Metallen zusammengesetzte Legierungen, deren Schmelzpunkte weit unter denjenigen aller Bestandteile liegen, nicht zwischen denselben, wie bei Messing und Bronze. Beispiele solcher leicht schmelzbaren Legierungen sind:

25 Teile Blei + 25 Teile Zinn + 50 Teile Wismut (Roses Metall); Schmelzpunkt 95°,

32 Teile Blei + 15,5 Teile Zinn + 52,5 Teile Wismut; Schmelzpunkt 96°,

24,9 Teile Blei + 14,2 Teile Zinn + 50,1 Teile Wismut + 10,8 Teile Kadmium; Schmelzpunkt 65,5°.

Diese Körper schmelzen also bereits beim Eintauchen in siedendes Wasser. Ich habe hier ein Stäbchen aus einer der genannten Legierungen, und sobald ich es in dieses Gefäß mit heißem Wasser eintauche, sehen wir das geschmolzene Metall heruntertropfen und auf dem Boden des Glases flüssig verweilen. Durch passende Menge und Wahl der Bestandteile kann man den Schmelzpunkt zwischen weiten Grenzen verändern und so Körper herstellen, die beim Erreichen einer bestimmten

Digitized by Google

Temperatur schmelzen. So hat man z. B. mitunter Sicherheitsplatten an Dampfkesseln angebracht, nämlich Platten aus leicht schmelzbarem Material, deren Schmelzen dem eingeschlossenen Dampf einen Ausweg eröffnet, sobald Druck und Temperatur sich der für die Festigkeit der Kesselwand gefährlichen Grenze nähern.

Der Übergang des festen in den flüssigen Aggregatzustand wird indessen nicht bloß durch die Temperatur bedingt, sondern außerdem auch durch den Druck. Im ersten Kapitel wurde (s. S. 13) erwähnt, daß viele Körper sich beim Erstarren ausdehnen. Hiermit im Zusammenhang steht die Abhängigkeit des Schmelzpunktes vom Druck, welche namentlich beim Wasser von großer Bedeutung ist. Daß nämlich der Schmelzpunkt des Eises durch starken Druck herabgesetzt wird, zeigen uns die folgenden Versuche.

Dieser hölzerne Klotz hat eine Bohrung, welche durch einen Stahlzylinder ausgefüttert ist und einen zylindrischen Hohlraum von etwa 2 cm Durchmesser enthält. Dahinein fülle ich Schnee (klein geschlagenes Eis wäre ebenso brauchbar) und treibe dann einen Stahlstempel, der in die Höhlung paßt, durch Hammerschläge hinein. Der Schnee wird dadurch im untersten Teil der Höhlung zusammengepreßt, und beim Herausnehmen finden wir nicht mehr das Haufwerk einzelner Kristallnadeln (oder Eisstückchen), welches hineingebracht wurde, sondern ein zusammenhängendes und ziemlich festes Eisstück von der Form der Höhlung, in die es gepreßt wurde. Diese Veränderung zu verstehen ist nicht schwer, wenn wir annehmen, daß unter der Wucht der Hammerschläge jedesmal ein entsprechender Druck im Innern des Zylinders entstand, und daß hierdurch die Schmelztemperatur des Schnees herabgesetzt wurde. Da er sich bereits seit einiger Zeit hier im Zimmer befindet und daher seine Temperatur nur wenig unter 0^0 liegt, kann durch den Druck sein Schmelzpunkt unter 0^0 und somit auch tiefer sinken, als die augenblickliche Temperatur des Schnees beträgt. Wenn dies eintritt, d. h. wenn der Schnee wärmer ist, als sein jetziger Schmelzpunkt angibt, so schmilzt er, freilich nur für die Dauer der Druckwirkung. Während der einzelnen Hammerschläge bestand die im Hohlraum befindliche Masse jedesmal für eine ganz kurze Zeit aus Wasser, um beim Nachlassen des Druckes sogleich wieder zu gefrieren, denn jetzt lag ja der

Digitized by Google

Schmelzpunkt wieder über der drinnen herrschenden Temperatur. Dies Wiedergefrieren führte aber nicht zur Bildung von Schnee oder von einzelnen Eisstückchen, sondern ließ einen zusammenhängenden Eiskörper entstehen, der den ihm gebotenen Hohlraum gerade ausfüllte.

Der gleiche Versuch in anderer Ausführung sieht folgendermaßen aus. Hier habe ich eine aus zwei Teilen bestehende hölzerne Form: der eine Teil trägt einen halbkugeligen Ansatz, welcher gerade in die halbkugelige Vertiefung des anderen Teiles hineinpaßt. Ich fülle diese Vertiefung mit Eisstückchen, drücke die Halbkugel mittels der hydraulischen Presse recht fest hinein, und finde nach Aufhören des Druckes in der Höhlung ein zusammenhängendes Eisstück von der Gestalt einer halben Hohlkugel.

Noch auf andere Weise läßt sich zeigen, wie durch Druck die Schmelztemperatur des Eises sinkt. Ich lege ein Brett mit beiden Enden auf zwei Stühle oder dergl., auf das Brett ein großes Eisstück und über dieses einen Draht von etwa 1 mm Dicke. Die beiden Drahtenden, welche zu beiden Seiten des Brettes herabgeführt sind, belaste ich durch Anhängen eines nicht zu kleinen Gewichtes (etwa 10 kg oder mehr) und überlasse das Ganze zunächst sich selbst. Der von dem Gewicht gespannte Draht ruht auf der Oberseite des Eisstückes und belastet dort einen schmalen Streifen, dessen Breite der Drahtstärke gleich ist, mit entsprechend hohem Druck. Dadurch wird nun wieder die Schmelztemperatur unter die im Eisstück herrschende Temperatur herabgedrückt, das Eis schmilzt an dem gedrückten Streifen und wird als Wasser durch den abwärts strebenden Draht verdrängt. Sobald es aber auf diese Art über den Draht gelangt und also seinem Druck entzogen wird, nimmt der Schmelzpunkt wieder den früheren Wert an, und das Wasser gefriert von neuem. Wenn unser Versuch eine halbe Stunde gedauert hat, können wir bereits deutlich erkennen, daß der Draht im Eise immer tiefer versinkt, ohne es aber zu zerschneiden; und sofern wir lange genug warten, sehen wir schließlich aus dem unverletzt gebliebenen Eisstück den Draht unten hervorkommen und können die Bahn, welche er im Eis zurückgelegt hat, deutlich mit den Augen verfolgen.

Diese Erscheinung des Schmelzens unter Druck und Wiedergefrierens nach Aufhören des Druckes nennt man die

Digitized by Google

Regelation des Eises. Messungen haben ergeben, daß beim Eise eine Druckzunahme um eine Atmosphäre mit einem Sinken des Schmelzpunktes um 0,0075° verbunden ist.

Übrigens brauchen wir, um die Regelation des Eises wahrzunehmen, keineswegs besondere Versuche anzustellen. Beim Schlittschuhlaufen z. B. pflegen wir diese Erscheinung stets zu benutzen. Dabei ruht nämlich die Körperlast meist allein auf der äußeren Kante des gerade am Boden befindlichen Schlittschuhs, also auf einem sehr schmalen Streifen, und hieraus ergibt sich eine so starke Belastung dieses Eisstreifens, daß Verflüssigung erfolgt. Unter dem Schlittschuh haben wir also eine dünne Wasserschicht, die hinter dem Laufenden sogleich wieder gefriert, und der wir das leichte ruhige Gleiten auf der Eisbahn zuschreiben müssen. Ohne solche verflüssigte Oberfläche ist das Eis hart und spröde; das kann auch der Schlittschuhläufer bemerken, wenn er bei starker Kälte die Eisbahn aufsucht, weil dann der Druck der Körperlast nicht ausreicht, um den Schmelzpunkt des Eises bis unter die herrschende tiefe Temperatur herabzubringen.

In großem Maßstabe tritt die Regelation bei der Gletscherbildung auf und bewirkt dort die Umbildung der auf den Berggipfeln angehäuften Schneemassen in das klare Eis der Gletscher. Oberhalb der sogenannten Schneegrenze fällt im Winter mehr Schnee, als der Sommer aufzutauen vermag, und so entsteht die „Region des ewigen Schnees", deren Schneemassen nicht bloß die warme Jahreszeit überdauern, sondern auch während des Winters jedesmal neuen Zuwachs erhalten. Dadurch wird schließlich eine so große Schneelast angesammelt, daß die unterste Schicht einen hohen Druck erleidet und unter seiner Einwirkung zu schmelzen beginnt. Das entstehende Schmelzwasser fließt unter den Schneemassen hervor und erstarrt, da es nun dem verflüssigenden Druck entronnen ist, sogleich zu klarem Eise. Der gleiche Vorgang wiederholt sich, so oft an irgend einer Stelle der Druck groß genug wird, um wiederum das Eis schmelzen zu machen, also nicht bloß in den untersten Schneeschichten, sondern auch in der ganzen Eismasse, die von oben durch stets erneuten Druck abwärts geschoben wird. Sie schmiegt sich dabei der Bodenform an, wie es vorher bei unseren Versuchen die Schneemassen in den Hohlformen taten, denn sobald irgendwo Widerstand oder Spannung die Bewegung zu

Digitized by Google

hindern beginnt, schmilzt das gedrückte Eis und umfließt als Wasser schmiegsam das Hindernis, um dann sofort wieder zu erstarren. In der Mitte des Eisstromes ist die Schichtdicke größer als am Rande, und demgemäß hat man wahrgenommen, daß die mächtigeren mittleren Teile langsam einsinken, während die dünneren Randgebiete aufquellen. Indem die Gletschermassen so in die wärmeren Täler hinabströmen, bewegen sie sich, gerade wie der Schlittschuhläufer und aus demselben Grunde, auf einer dünnen Wasserschicht, die das Gleiten noch erleichtert, und finden ihre untere Grenze durch das allmähliche, von der wärmeren Umgebung erzeugte Abschmelzen des Randes.

Zu den Angaben über die Schmelz- und Erstarrungstemperatur gehört noch die Schilderung einer Unregelmäßigkeit, die man als Überschmelzung oder auch Überkaltung bezeichnet. Es kann nämlich eine Flüssigkeit erheblich unter den Erstarrungspunkt abgekühlt werden, ohne in den festen Zustand überzugehen, wenn man dabei Erschütterungen, namentlich aber Berührung der Flüssigkeit mit einem festen Teilchen derselben Substanz vermeidet. Beginnt an irgend einer Stelle der überschmolzenen Flüssigkeit die Erstarrung, so verbreitet sie sich sogleich, die ganze Masse wird fest und erwärmt sich zugleich bis zur Temperatur des normalen Schmelzpunktes. Besonders leicht gelingt dies bei einigen Salzen, wie z. B. dem essigsauren und dem unterschwefligsauren Natron, auf deren Verhalten wir nachher noch einzugehen haben, und auch das Wasser kann bei entsprechender Vorsicht weit unter 0^0 abgekühlt werden, ohne zu gefrieren. Reine und luftfreie Wassertropfen, die in ein enges Glasrohr gebracht werden, bleiben flüssig bei Abkühlung bis -20^0.

In der Atmosphäre kommt unterkühltes Wasser oftmals vor. Wenn ein aufsteigender Luftstrom zur Bildung von Wassertröpfchen führt (vgl. S. 38, 88) und diese mit sich hinaufhebt, so kann bei fortgesetzter dynamischer Abkühlung der Luft eine Unterkühlung der Tröpfchen leicht eintreten. Wird dann durch Berührung mit Eiskristallen, die aus noch höheren Schichten herabfallen, oder auf andere Art die Überkaltung unterbrochen, so erstarren die Tröpfchen rasch, und im Gegensatz zu den langsam kristallisierten Schneeflocken bilden sie strukturlose Eisklümpchen, welche sich vielfach miteinander vereinigen, auch wohl im Herabfallen andere überkaltete Tröpfchen zum Erstarren bringen und mit ihnen zusammenschmelzen. So

Digitized by Google

entstehen die trüben, aus vielen kleinen Eisteilchen zusammengesetzten Graupelkörner, die in Schauern herabfallen und gewöhnlich als Begleiter örtlich aufsteigender Luftströme, der sogenannten Böen, erscheinen. Meistens ist dabei die Luft in starker Bewegung, und nicht selten entstehen in der Höhe Luftwirbel mit wagerechter Achse, die also die Luftmassen samt den darin enthaltenen Eiskörnchen und Wassertropfen in raschem Wechsel auf- und abwärts führen. Wenn dann unten die Graupelkörner mit Wassertropfen zusammentreffen und sich mit einer flüssigen Schicht bedecken, die nachher in der kälteren Höhe gefriert, so entstehen die Hagelkörner, die bekanntlich einen trüben Kern mit einer oder mehreren halbdurchsichtigen Eishüllen zu zeigen pflegen, und deren Lebensgeschichte man beim Durchschneiden leicht aus den verschiedenen Schichten ablesen kann. Der Hagel entsteht wahrscheinlich viel häufiger, als wir ihn auftreten sehen, denn wenn die Hagelkörner sich in großer Höhe bilden und durch eine entsprechend mächtige Schicht wärmerer Luft herabfallen, schmelzen sie und langen unten als große Tropfen an, so daß man nicht Hagelfall, sondern Platzregen wahrnimmt. Dauert das Ganze lange, so geschieht es wohl, daß die von den ersten Hagelmassen abgekühlte Luft den Rest nicht mehr schmelzen kann, und das Unwetter, welches als Platzregen begann, endet mit Hagel.

Ein anderes Auftreten überschmolzenen Niederschlages finden wir in dem seltener zu beobachtenden Eisregen. Ein Beispiel hierfür fand in Mittel- und Ostdeutschland am 20. Oktober 1898 statt und erzeugte am Boden sowie an den Pflanzen, Häusern usw. einen zusammenhängenden Überzug klaren Eises. Die Belastung der Pflanzen war eine so große, daß durch Brechen vielfach schwerer Schaden entstand. Die genauere Untersuchung der einzelnen Witterungsvorgänge läßt vermuten, daß der Regen jenes Tages aus einer oberen und verhältnismäßig warmen Schicht stammte und in Form flüssiger Tropfen von wenig über 0^0 durch eine tiefere und kältere Schicht fiel. Hier unter 0^0 erkaltet und überschmolzen trafen die Tropfen den Boden, die Pflanzen usw. und erstarrten auf diesen Gegenständen sogleich durch die Erschütterung des Auftreffens oder beim Berühren des schon vorhandenen Eises.

Wie durch Druck so kann die Erstarrungstemperatur einer Flüssigkeit auch dadurch erniedrigt werden, daß man in ihr

Digitized by Google

eine andere Substanz auflöst. Es gefriert dabei zwar nur das Lösungsmittel, und so bildet sich z. B. aus dem salzigen Meerwasser bei Kälte süßes Eis, welches höchstens mechanisch eingeschlossene Salzteilchen enthält. Die Temperatur aber, bei welcher das Lösungsmittel zu erstarren beginnt, liegt um so tiefer, je mehr gelöste Substanz es enthält. So fand man beispielsweise beim Lösen von 1,375 g Kochsalz in 100 g Wasser ein Sinken des Gefrierpunktes auf $-0{,}81^0$; bei Lösung von 5,85 g auf $-3{,}42^0$. Diese Gefrierpunktserniedrigung steht in geradem Verhältnis zur gelösten Menge und insbesondere auch zur Zahl der gelösten Moleküle; sie dient daher den Chemikern zur Bestimmung des Molekulargewichtes.

Nachdem wir bisher die Temperatur betrachtet haben, bei welcher das Schmelzen und Erstarren stattfindet, erwächst uns nun die weitere Aufgabe, auch von der Wärmemenge Kenntnis zu nehmen, deren Umsetzung für das Zustandekommen jener Vorgänge wesentlich ist. Um zunächst eine Anschauung der Sache zu gewinnen, betrachten wir nochmals den einfachen Versuch, mit welchem dies Kapitel begann. In einem Gemisch von Eis und Wasser zeigt ein Thermometer unveränderlich die Temperatur 0^0, gleichviel ob wir dem Gemisch Wärme zuführen oder entziehen, solange nur die beiden Bestandteile, festes Eis und flüssiges Wasser, nebeneinander noch vorhanden sind. Nun wissen wir aber schon (vgl. S. 35, 39), daß Wärme eine Form der Energie ist, und daß wir also unserem Eis-Wasser-Gemisch mit der Wärme etwas zuführen oder entziehen, was weder verschwinden noch aus dem Nichts entstehen kann. Wo also bleibt die Wärme, welche wir dem Gemisch zuführen, oder woher kommt die Wärme, welche wir ihm entziehen, wenn in seiner unverändert bleibenden Temperatur kein Anzeichen der geschehenen Wärmebewegung sichtbar wird? Darauf antwortet uns der Versuch, welcher erkennen läßt, daß beim Zu- oder Wegführen von Wärme zwar nicht die Temperatur, wohl aber der Aggregatzustand sich ändert. Führen wir dem Gemisch Wärme zu, so schmilzt ein Teil des vorhandenen Eises, entziehen wir ihm Wärme, so gefriert ein Teil des vorhandenen Wassers. Und also ziehen wir daraus einen Schluß, welchen die Physik mit den Worten bezeichnet: beim Schmelzen von Eis wird Wärme verbraucht, beim Gefrieren von Wasser wird Wärme frei. Man nennt die für solche Änderung des Aggregat-

Digitized by Google

zustandes in Betracht kommende Wärmemenge latent oder gebunden und spricht demgemäß von latenter Schmelzwärme.

Ohne besonders schwierige Vorbereitungen können wir jetzt unseren Versuch derartig abändern, daß er uns die Schmelzwärme des Eises zu messen gestattet. Wir bedienen uns dazu gewogener Mengen von Wasser und Eis und verfolgen den Gang ihrer Temperaturen. Ein Gefäß enthalte 1 kg (Liter) Wasser von 25° C. Dahinein bringen wir 100 g Eis von 0° und rühren das Gemisch sorgfältig solange um, bis alles Eis geschmolzen ist. Dann finden wir die Endtemperatur 15,5° und gründen darauf folgende Berechnung. Die anfangs vorhanden gewesene Wassermenge wurde um 9,5° abgekühlt, wobei sie 9,5 Kal. hergab, und dabei wirkten zwei Ursachen mit. Erstens ist das hineingebrachte Eis von 0° in Wasser von 0° verwandelt worden und hat dazu eine gewisse Wärmemenge verbraucht. Zweitens wurden diese 100 g Schmelzwasser von 0° auf 15,5° erwärmt. Da wir aus dem vorigen Kapitel (vgl. S. 24) wissen, daß durch Zuführen einer Kalorie 1 kg Wasser um 1° erwärmt wird, gehört zur Erwärmung unserer 100 g um 15,5° eine Wärmemenge von 1,55 Kal. Von 9,5 Kal., die das anfangs vorhandene Kilogramm Wasser abgab, bleiben also, wenn wir der Einfachheit halber die Hundertstel weglassen, noch 8 Kal. übrig als diejenige Wärmemenge, welche 100 g Eis von 0° in Wasser von 0° verwandelten, oder für 1 kg Eis beträgt die Schmelzwärme 80 Kal. Um ein Stück Eis von 0° ohne Temperaturänderung zu schmelzen, gehört also ebensoviel Wärme, als zur Erhitzung des beim Schmelzen entstandenen Wassers von 0 auf 80°.

Um ganz genau zn verfahren, hätte man auch noch diejenige Wärmemenge berücksichtigen müssen, welche dem Gefäß bei der Abkühlung entzogen wurde und also dem für die Eisschmelzung erforderlichen Betrag eigentlich zuzurechnen ist. Indessen kann bei einem dünnwandigen Glasgefäß diese Wärmemenge wohl vernachlässigt werden, da ja die geringe spezifische Wärme des Glases und das geringe Gewicht des Gefäßes eine Beachtung dieses Gefäßeinflusses nur bei größerer Genauigkeit nötig machen.

Wie in unserem Beispiel für das Wasser, so hat man auf ähnliche Art für viele Substanzen die Schmelzwärme bestimmt und Zahlen gefunden, deren einige in der folgenden

Digitized by Google

Tabelle zusammengestellt sind. Ihre Bedeutung ist die, daß jede der mitgeteilten Zahlen angibt, wie viele Kilogrammkalorien nötig sind, um 1 kg der betreffenden Substanz bei ihrer Schmelztemperatur zu verflüssigen; oder auch, wieviel Kilogrammkalorien einem Kilogramm flüssiger Substanz bei ihrer Schmelztemperatur entzogen werden müssen, um sie erstarren zu machen.

Schmelzwärme.

Blei	5,4 Kal.	Schwefel, rhombisch	9,4 Kal.
Kadmium	13,7 „	Silber	24,7 „
Gußeisen, weiß	33 „	Wismut	12,4 „
„ , grau	23 „	Zink	28 „
Kupfer	43 „	Zinn	14,6 „
Nickel	4,6 „	Eis	79,9 „
Phosphor	5,0 „	Bienenwachs	61,8 „
Platin	27,2 „	Unterschwefligsaures Natron, kristall.	37,6 „
Quecksilber	2,8 „		

Die Einzelheiten, welche bei der Schmelzung und insbesondere bei der Überschmelzung stattfinden, soll uns der folgende Versuch zeigen. Wir beobachten den Vorgang der Schmelzung beim unterschwefligsauren Natron, einem aus weißen Kristallen bestehenden Salz, welches wegen seiner Anwendung in der Photographie als „Fixiernatron" bekannt ist. Ein Gläschen, welches mit dem Salz gefüllt ist und außerdem ein Thermometer enthält, wird in ein größeres Gefäß mit heißem Wasser eingesenkt, bis das Salz geschmolzen ist. Hierfür eine Gasflamme unmittelbar zu verwenden, wäre bedenklich, weil dabei leicht ein Teil des Salzes zu stark erhitzt und dann zersetzt werden könnte. Bei 48^0 liegt der Schmelzpunkt, und sobald nach Erreichung dieser Temperatur die vollständige Schmelzung geschehen ist, setze ich das Gläschen in eins der Glasgefäße unseres im vorigen Kapitel (S. 23, Fig. 11) beschriebenen Thermoskops, so daß wir jede Temperaturänderung genau verfolgen können. Sorgfältig muß dabei beachtet werden, daß alles Salz auch wirklich geschmolzen ist, denn wenn irgend ein kleines Körnchen darin fest zurückbliebe, würde dies nachher die Unterkühlung verhindern. Wir vermeiden also die Anwesenheit fester Salzteilchen ebenso wie zu viel Erschütterung und können vielleicht auch die Abkühlung beschleunigen, indem wir vorsichtig das Gläschen zunächst in kaltes Wasser und dann erst in das Thermoskop bringen. Es ist nicht schwer, auf diese Art die

Digitized by Google

flüssige Masse bis 20^0 und tiefer abzukühlen und diese Veränderung sowohl am Thermometer wie auch in größerem Abstande an dem farbigen Flüssigkeitsfaden des Thermoskops oder dessen an die Wand geworfener Vergrößerung zu erkennen. Nun werfe ich ein Stückchen festen unterschwefligsauren Natrons in die Flüssigkeit und erzeuge durch dessen Berührung das sofortige Aufhören der Überschmelzung. Die ganze flüssige Masse trübt sich durch rasch anschießende Kristalle und erstarrt binnen weniger Sekunden. Zugleich wird die vorher bei der Schmelzung gebundene Wärme jetzt wieder frei, und wir sehen die Temperatur der Substanz schnell steigen. Natürlich kann sie nicht über die normale Erstarrungstemperatur von 48^0 hinauskommen, denn wenn diese erreicht ist, würde ein Mehr von Wärme einen Teil des Salzes wieder schmelzen und es kann der Vorgang des Erstarrens nicht den Anlaß zu neuem Schmelzen geben.

Die Möglichkeit der Überschmelzung und das Freiwerden gebundener Wärme beim Erstarren flüssiger Substanz finden praktische Anwendung in dem sogenannten Thermophor. Das ist ein aus passendem Material (Blech, Gummi) gefertigtes Behältnis, welches mit einem geeigneten Salz gefüllt ist und zur Erwärmung kleiner Räume, zum Warmhalten von Speisen, in der Krankenpflege als warmer Umschlag und dergl. dient. Für den Gebrauch wird der Apparat in kochendes Wasser getan und darin solange gelassen, daß die Füllung, meist essigsaures oder unterschwefligsaures Natron, vollständig schmilzt. Dabei ist die Temperatur auf den Schmelzpunkt der Füllung gestiegen und bleibt nun auch in kälterer Umgebung unverändert, bis alles Salz wieder fest geworden ist. Inzwischen gibt der Apparat diejenige Wärmemenge nach außen ab, welche ihm während des Schmelzens zugeführt und durch die Füllung gebunden wurde, und die jetzt beim Erstarren wieder frei wird. Man verwendet als Füllung natürlich nur Salze, deren Schmelzwärme beträchtlichen Wert hat, und indem die ganze latent gewesene Wärme beim Erstarren nach außen abgegeben wird, wirkt der auf Schmelztemperatur verbleibende Apparat wie ein kleiner Ofen. In solcher Art dient er z. B. auch zum Heizen von Eisenbahn- und Straßenbahnwagen. Bei geeigneter Behandlung kann auch das Erstarren der Füllung hintangehalten und ein Überkalten herbeigeführt werden. Dann ist die Füllung flüssig

Digitized by Google

geblieben, der Apparat hat die Temperatur der umgebenden Luft angenommen und man kann zu beliebiger Zeit die noch darin enthaltene gebundene Wärme frei werden lassen, indem man die Erstarrung einleitet. Dazu pflegt es zu genügen, wenn man durch Lösen einer Schraube der Außenluft den Eintritt in das erkaltete Innere gestattet.

Das Wesentliche bei dieser Anwendung des Vorausgegangenen ist also die Möglichkeit, eine Temperatur, nämlich diejenige des Schmelzpunktes, für längere Zeit und trotz des beständigen Wärmeaustausches mit der Umgebung unverändert zu erhalten. Liegt die gewünschte Temperatur über der gewöhnlichen, so benutzt man, wie im Thermophor, ein Salz mit entsprechendem Schmelzpunkt, welches im Erstarren soviel Wärme an seine Umgebung abgibt, als der vorliegende Zweck verlangt. Wenn dagegen eine unter der gewöhnlichen liegende Temperatur erzielt und erhalten werden soll, so wird umgekehrt eine Substanz zu verwenden sein, deren Schmelzpunkt die entsprechende tiefe Lage hat, und die vom festen Zustande ausgehend im Schmelzen soviel Wärme bindet, als der Umgebung zu entziehen ist. Dies letztere trifft zu bei allen mit Eis betriebenen Kühlanlagen. Wenn man z. B. einen Eiskeller im Winter mit Eis versieht, so ist damit die Sicherheit gegeben, daß alle in der wärmeren Jahreszeit herzukommende Wärme nicht zur Temperaturerhöhung, sondern nur zur Eisschmelzung verbraucht werden wird, solange noch Eis vorhanden ist, und daß also bis dahin die Temperatur des Kellers nicht über 0^0 steigen kann.

Eine ähnliche Erscheinung, welche die Natur in großem Stil ausführt, finden wir in den Eismassen der Polargebiete. Die Sonnenstrahlung trifft den Boden verschiedener Zonen in verschiedener Steilheit und zeitlicher Verteilung. So kommt es, daß die größte jährliche Gesamtmenge an Sonnenwärme dem Äquator zukommt, und den anderen Gegenden um so weniger, je höher ihre nördliche oder südliche geographische Breite ist. Dementsprechend finden wir auch die höchste jährliche Durchschnittstemperatur in den Tropen, die niedrigste an den Polen. Ein anderer Unterschied der Zonen besteht ferner darin, daß die zeitliche Verteilung der zugestrahlten Sonnenwärme über das Jahr in der Nähe des Äquators nur geringe Schwankungen zeigt, während nach den Polen hin die jährlichen Temperatur-

Digitized by Google

schwankungen immer größer, die Jahreszeiten immer verschiedener werden. In unseren mittleren Breiten sind wir daran gewöhnt, daß der Sommer lange Tage und kurze Nächte, der Winter kurze Tage und lange Nächte bringt, und daß dieser Unterschied in der Sonnenscheindauer zusammen mit demjenigen der Sonnenhöhe die Sommerwärme und die Winterkälte erzeugt. Am Äquator sind dagegen während des ganzen Jahres Tag und Nacht gleich lang, und nur die Unterschiede in der Sonnenhöhe bewirken dort die vorhandenen geringen Temperaturschwankungen des Jahres. Und andererseits ist an den Polen die Verschiedenheit der Jahreszeiten bekanntlich so groß, daß während je einer Jahreshälfte die Sonne dort nur über und nur unter dem Horizont steht. Dieser langen Sonnenstrahlung entspricht es, daß am Tage der Sonnenwende der Pol mehr Strahlungswärme empfängt, als ein Punkt des Äquators an seinem heißesten Tage, und daß es im Polarsommer insgesamt eine Zeit von 56 Tagen gibt, an welchen dort die Strahlung stärker ist als gleichzeitig an irgend einem anderen Punkt der Erde. Aus der bekannten Achsendrehung und Bahnbewegung der Erde sind diese Angaben leicht zu berechnen, und doch erscheint es uns überraschend, daß so große Wärmemengen den Polargebieten zugehen sollen, die wir als starre Eiswüsten schildern zu hören gewöhnt sind. Indessen ist zu bedenken, daß der Wärmezufuhr des Sommers ein ebenso großer Wärmeverlust des Winters gegenübersteht, und daß der Winter dort größere Eismassen hinterläßt, als der Sommer schmelzen kann. So wirken also in den Polargebieten die Eismassen ähnlich wie in unseren Eiskellern. Die zugeführte Sommerwärme kann, solange noch Eis vorhanden ist, die Temperatur nicht über 0^0 erhöhen, sondern wird durch Schmelzung gebunden.

Endlich sei noch eine Anwendung der Eisschmelzung erwähnt, die von erheblicher wissenschaftlicher Bedeutung ist, nämlich die Messung der spezifischen Wärme mittels des *Eiskalorimeters*. Wie wir im vorigen Kapitel sahen, antwortet die Angabe der spezifischen Wärme eines Körpers auf die Frage: wieviele Kalorien müssen einem Kilogramm des Körpers zugeführt oder entzogen werden, damit seine Temperatur um 1^0 steigt oder sinkt? Eine Messungsweise, nämlich die sogenannte Mischungsmethode, haben wir (S. 22) kennen gelernt. Es

Digitized by Google

wird der zu untersuchende Körper gewogen, auf höhere Temperatur erwärmt und dann in eine gewogene Wassermenge von bekannter Temperatur gebracht, worauf die gemeinsame Endtemperatur des Ganzen abgelesen wird. Dann hat der vorher wärmere Körper ebensoviel Wärme abgegeben, als das vorher kühlere Wasser aufgenommen hat, und aus Gewicht und Temperaturerhöhung des Wassers ist diese Wärmemenge leicht zu berechnen, ebenso aus Gewicht und Abkühlung des Körpers dessen spezifische Wärme.

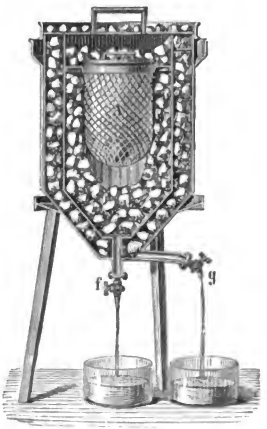


Fig. 16. Apparat zur Bestimmung der spezifischen Wärme. (Nach Wüllner Bd. II.)

In vielen Fällen ist es zweckmäßiger, nicht aus der Erwärmung einer bekannten Wassermenge, sondern aus der Menge geschmolzenen Eises die Wärmemenge zu entnehmen, welche der untersuchte Körper bei seiner Abkühlung um eine bekannte Zahl von Graden hergibt. Dazu diente ursprünglich der in Fig. 16 abgebildete Apparat. Im inneren Hohlraum eines doppelwandigen Gefäßes aus Eisenblech befindet sich ein Drahtkörbchen A umgeben von zerstoßenem Eis; um äußere Wärmeeinwirkungen abzuhalten, ist der Zwischenraum beider Gefäßwände gleichfalls mit zerstoßenem Eis gefüllt und nimmt in wärmerer Umgebung die Temperatur 0^0 an, wobei das entstehende Schmelzwasser aus g abfließen kann. Der innere Raum ist dann, ohne daß in ihm Eis schmilzt, gleichmäßig 0^0 warm. Nun wird der zu untersuchende Körper von bekanntem Gewicht auf eine gleichfalls bekannte höhere Temperatur gebracht (z. B. in siedendem Wasser auf 100^0) und in das Körbchen A gelegt, worauf sogleich wieder das Gefäß verschlossen wird. Der erwärmte Körper kühlt sich auf 0^0 ab und gibt dabei an das ihn umgebende Eis eine Wärmemenge ab, deren Betrag aus dem Gewicht des entstehenden und durch f abfließenden Schmelzwassers hervorgeht. Mit Rücksicht auf die bekannte Schmelzwärme des Eises kann danach leicht die gesuchte spezifische Wärme berechnet werden.

Digitized by Google

Sehr viel genauere Ergebnisse liefert die in Fig. 17 abgebildete Form des Eiskalorimeters. Auch hier wird die von einem erwärmten Körper bei der Abkühlung auf 0^0 abgegebene Wärmemenge aus der Menge des geschmolzenen Eises bestimmt, aber nicht durch Wägung des Schmelzwassers, sondern man benutzt die Volumenverminderung, welche beim Übergang von Eis zu Wasser stattfindet (vgl. S. 13), um die Menge des geschmolzenen Eises zu finden. Ein oben offenes Glasröhrchen *a* ist in das weitere Glasrohr *b* eingeschmolzen, und an dieses unten das zweimal gebogene Glasrohr *c* angesetzt, welches oben eine Eisenfassung *γd* und darinnen mittels Kork *k* eingesetzt das enge und mit Teilung versehene Glasrohr *s* trägt. Zum Gebrauch wird *b* oberhalb *β* mit reinem Wasser, im übrigen und bis an *s* mit Quecksilber gefüllt. Dann bringt man in *a* eine geeignete Kältemischung (vgl. S. 31) und erzeugt dadurch auf der Außenseite von *a* einen Überzug von Eis. Nun wird *a* entleert und das Ganze in einem größeren Gefäß mit Schnee von 0^0 umgeben. Sobald der im Rohr *s* endende Quecksilberfaden sich nicht mehr bewegt, ist daraus ersichtlich, daß der ganze Apparat die Temperatur 0^0 angenommen hat, und der Versuch kann beginnen. Der zu untersuchende Körper von bekanntem Gewicht wird auf höhere Temperatur gebracht und in das Gefäß *a* eingesenkt. Indem er sich auf 0^0 abkühlt und eine entsprechende Wärmemenge abgibt, schmilzt dadurch ein Teil der außen an *a* befindlichen Eisschicht. Wie groß die geschmolzene Eismenge ist, kann man aus der Bewegung des Quecksilberfadens in der Röhre *s* entnehmen, denn, wie oben (S. 13) angegeben, nimmt bei 0^0 1 g Eis den Raum von 1,092 ccm, 1 g Wasser nur 1,000132 ccm ein. Haben wir vorher das geteilte Rohr *s* genau ausgemessen, so können wir angeben, um wieviel Kubikzentimeter oder Bruchteile eines solchen das Quecksilber in den Apparat hineingesogen wurde, wenn es um eine bestimmte Strecke im Rohr *s* zurücktrat, und hieraus

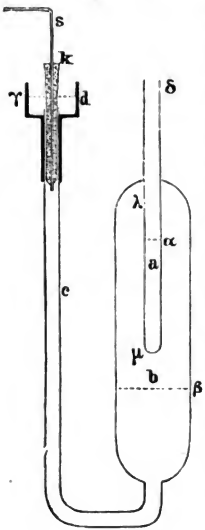


Fig. 17.
Eiskalorimeter. (Nach Wüllner Bd. II.)

Digitized by Google

kann dann leicht die Menge des geschmolzenen Eises, die von dem untersuchten Körper abgegebene Wärmemenge und also seine spezifische Wärme berechnet werden. In dieser Form ermöglicht das Eiskalorimeter so genaue Messungen, daß man auch schon mit recht geringen Substanzmengen zuverlässige Bestimmungen der spezifischen Wärme ausführen kann.

IV. Kapitel.

Sieden. Verdampfen. Verflüssigen.

Wie im vorigen Kapitel für die Schmelzung, so soll hier für den Vorgang des Siedens zunächst ein Versuch uns die nötige Anschauung liefern. Ich setze ein Gefäß mit Wasser über eine Flamme und beobachte an einem hineingehaltenen Thermometer die Temperatur. Zuerst sehen wir von Boden und Wänden des Gefäßes Bläschen aufsteigen, welche aus der im Wasser gelösten Luft bestehen, während die Temperatur immer höhere Werte annimmt. In einem gewissen Augenblick aber beginnt das Wasser zu wallen und in seiner ganzen Ausdehnung Dampfblasen auszusenden, während gleichzeitig das Thermometer bei etwa 100° C stehen bleibt. Wir sagen dann: das Wasser siedet, nennen die erreichte Temperatur seinen Siedepunkt und verstehen darunter, ähnlich wie es beim Schmelzpunkt geschah, diejenige Temperatur, bei welcher das Wasser sowohl als Flüssigkeit wie als Dampf bestehen kann. Wenn wir aber eine genaue Bestimmung des Siedepunktes vornehmen wollen und sie an verschiedenen Tagen wiederholen, finden wir deutliche Schwankungen. Gerade wie das Barometer steigt und sinkt, so bewegt sich, und zwar in gleichem Sinne, auch der Siedepunkt. Davon können wir uns leicht überzeugen, wenn wir statt der zeitlichen die örtlichen Unterschiede des Luftdrucks benutzen und die Siedetemperatur des Wassers in verschiedenen Höhen untersuchen Es wird z. B. auf dem Gipfel eines Hügels oder auf einem Turme der Siedepunkt des Wassers gleich 99,8° gefunden, während er am Fuße den Wert von 100° hat. Die weiter unten genauer zu erörternde Beziehung zwischen Siedepunkt und Luftdruck läßt dann erkennen, daß der Hügel oder Turm etwa 60 m hoch ist, und daß in den beiden

Digitized by Google

verschiedenen Siedetemperaturen sich der Druckunterschied ausspricht, denn je höher wir hinaufsteigen, um so geringer wird die Luftsäule, welche noch auf uns und unseren Apparaten lastet, und um so kleiner also auch der im Barometer erkennbare Luftdruck. Daß dabei auch der Siedepunkt des Wassers sinkt, lehren Messungen der erwähnten Art, und man hat durch Vergleichung von Barometerstand und Siedetemperatur ein Mittel gefunden, um den Luftdruck genau zu bestimmen und das Barometer durch das handlichere Thermometer zu ersetzen. Eine solche Vorrichtung heißt Höhen- oder Hypsothermometer und besteht aus einem Siedegefäß mit Dreifuß, einem ausreichenden Vorrat reinen Wassers, einer Spirituslampe und einem sehr genauen Thermometer. Um die Siedetemperatur möglichst fehlerfrei zu messen, bringt man das Thermometer nicht in das kochende Wasser, sondern unmittelbar darüber in den aufsteigenden Dampf, und deshalb hat das Siedegefäß einen geeigneten zylindrischen Aufsatz, der das Thermometer umschließt und gegen Abkühlung schützt. Namentlich zur barometrischen Höhenmessung ist dies Instrument recht zweckmäßig, da es beim Ersteigen von Bergen sehr viel leichter mitgeführt werden kann, als das unbequeme Quecksilberbarometer, und dabei doch genauere Messungen gestattet, als das Aneroidbarometer. Wie die Siedetemperatur des Wassers sich mit dem Barometerstande ändert, ergeben folgende Zahlen:

Siedetemperatur des Wassers bei verschiedenen Barometerständen.

101°	787,57 mm	97°	682,11 mm	93°	588,77 mm
100	760,00 „	96	657,69 „	92	567,19 „
99	733,24 „	95	634,01 „	91	546,27 „
98	707,29 „	94	611,04 „	90	526,00 „

In der Nähe des Bodens bedeutet also ein Sinken des Siedepunktes von Wasser um 1°, daß der Luftdruck um fast 27 mm Quecksilberhöhe gesunken ist; dem entspricht ein Emporsteigen um etwa 300 m.

Übrigens ist es nicht schwer, auch ohne zeitliche oder räumliche Änderungen die Abhängigkeit der Siedetemperatur vom Druck zu erkennen. Zu diesem Zweck benutze ich ein halb mit Wasser gefülltes Kochfläschchen, erhitze es bis zum Sieden und nehme es dann vom Feuer, indem ich es gleichzeitig mit einem

Digitized by Google

gut passenden Kork verschließe. Nun befestige ich das Gefäß in umgekehrter Stellung an einem passenden Halter und überlasse es der Abkühlung. Wenn ich jetzt auf den nach oben gerichteten Teil blase und also die Abkühlung beschleunige, so beginnt im Innern alsbald das Wasser von neuem zu sieden, hört aber gleich damit auf, sobald ich mit einer Gasflamme den oberen Gefäßteil bestreiche und erwärme. Diesen scheinbar seltsamen Vorgang, daß das Sieden des Wassers durch Abkühlen vermehrt, durch Erwärmen aber verhindert wird, kann ich beliebig oft wiederholen, ehe die Temperatur des Gefäßes weit genug gesunken ist, um den Versuch zu erschweren. Tatsächlich war es aber nicht das Wasser, welches dabei abgekühlt und erwärmt wurde, sondern das über dem Wasser im Gefäß befindliche Gemisch von Dampf und Luft; wurde dies abgekühlt, so zog es sich zusammen und übte einen entsprechend geringeren Druck auf das Wasser aus, hierdurch sank dessen Siedepunkt, und wenn seine Abkühlung noch nicht weit vorgeschritten war, konnte der neue Siedepunkt unter die augenblickliche Temperatur des Wassers herabgehen und mußte das Sieden von neuem beginnen. Wurde dagegen durch Erwärmen des Dampf- und Luftgemisches der Druck, welcher auf dem Wasser lastet, vergrößert, so stieg sein Siedepunkt, überschritt die augenblickliche Temperatur des Wassers, und das Sieden hörte auf.

Fig. 18. Dampfdruck verschiedener Flüssigkeiten. (Nach Wüllner Bd. II.)

Zur weiteren Erkundung des Siedevorganges und zum Vergleichen des Wassers mit anderen Flüssigkeiten diene uns noch der folgende Versuch. Ich fülle ein an einem Ende geschlossenes Glasrohr von ausreichender Länge (über 76 cm) ganz mit Quecksilber, verschließe die Öffnung mit dem Finger, kehre es um und stelle es so auf, daß seine Öffnung sich in einem mit Quecksilber nahezu gefüllten Gefäß befindet. Mache ich dann die Öffnung durch Fortnehmen des Fingers frei, so sehen wir das Quecksilber in der Röhre soweit (bis *a*, Fig. 18) fallen, daß die verbleibende Quecksilbersäule dem außen herr-

Digitized by Google

schenden Luftdruck entspricht, während der oberste Teil der Röhre luftleer ist und das sogenannte Torricellische Vakuum bildet. Die Röhre stellt jetzt ein Barometer dar und bildet zusammen mit dem Gefäß ein Paar kommunizierender Röhren, in welchen Gleichgewicht herrscht. Im äußeren Gefäß wirkt der Druck des dort befindlichen Quecksilbers und derjenige der Luft, in der Röhre nur der Druck der entsprechend längeren Quecksilbersäule, und demnach wird der Luftdruck gemessen durch diejenige Länge, um welche das Quecksilber innen höher als außen steht. Nun gieße ich in eine zweite, gleiche Glasröhre soviel Quecksilber, daß noch ein kleiner Raum frei bleibt, und fülle diesen mit Wasser. Stelle ich dies Rohr ebenso auf, wie das erste, so sinkt darinnen das Quecksilber merklich tiefer (bis *b*), und ein Teil des Wassers verwandelt sich sogleich in Dampf. Ein drittes und viertes Rohr behandle ich in derselben Weise, nehme jedoch statt des Wassers Alkohol und Äther, wobei die Quecksilbersäulen die in der Figur angedeuteten geringeren Längen haben (bis *c* und *d*). Die Verschiedenheit der Quecksilbersäulen ist nicht schwer zu erklären; während in der ersten Röhre nur Quecksilber enthalten ist und darüber ein leerer Raum, haben wir in jeder der anderen Röhren über dem Quecksilber nicht bloß einen Flüssigkeitsrest, sondern, da die Flüssigkeit sich verringert hat und zum Teil in Dampf überging, muß der über der Flüssigkeit befindliche Raum mit diesem Dampf erfüllt sein, und es muß in ihm ein der Dampfmenge entsprechender Druck herrschen. Dieser Dampfdruck zusammen mit dem Druck der Quecksilbersäule kommt dem äußeren Luftdruck gleich und also auch demjenigen Druck, den in der ersten Röhre das Quecksilber allein ausübt. Und um den Betrag des Dampfdruckes, welcher in jeder der drei Röhren herrscht, ist darin folglich der Quecksilberdruck kleiner, als in der ersten Röhre. Wenn unser Apparat die Zimmertemperatur von 20° C angenommen hat, so finden wir aus den Unterschieden der Quecksilbersäulen den Dampfdruck des Wassers gleich 17,41 mm, des Alkohols gleich 44,00 mm, des Äthers gleich 442,36 mm Quecksilberhöhe. Diese Größen bleiben unverändert, solange die gleiche Temperatur bestehen bleibt, gleichviel ob der für den Dampf verfügbare Raum etwa zu- oder abnimmt. Um auch dies zu zeigen, bringe ich eine der Röhren unter geeigneten Vorsichtsmaßregeln in ein tieferes Gefäß mit

Digitized by Google

Quecksilber. Senke ich es darin, so sehen wir die Länge der im Rohre stehenden Quecksilbersäule unverändert bleiben, während der Dampf auf einen kleineren Raum beschränkt wird; hebe ich das Rohr, so daß seine Öffnung bis nahe unter die Quecksilberoberfläche des Gefäßes gelangt, so bleibt die Länge der Quecksilbersäule gleichfalls ungeändert, während der Dampf jetzt einen größeren Raum erfüllt. Vermöge genaueren Zusehens konnten wir aber bemerken, daß die über dem Quecksilber stehende Flüssigkeit beim Senken des Rohres zunahm, beim Heben sich verringerte, und daß also in dem kleineren Raum weniger, im größeren mehr Dampf enthalten war, während der Dampfdruck in dem mit der Flüssigkeit in Berührung stehenden Raum sich nicht änderte. Diesen Dampf, der während des ganzen Versuches den gerade verfügbaren Raum erfüllte und dabei den größten, bei der herrschenden Temperatur möglichen Druck ausübte, nennt man *gesättigt*, und seine Sättigung war in unserem Apparat solange gesichert, als noch Flüssigkeit vorhanden war, durch deren Verdampfen er sich ergänzen konnte. Hätte ich dagegen das Rohr soweit gehoben, daß alle über dem Quecksilber stehende Flüssigkeit verdampfte, so hätte bei weiterem Heben der Dampf zwar den verfügbaren Raum gleichfalls ausgefüllt, aber mit kleinerem Druck, als bei der herrschenden Temperatur möglich wäre, und in solchem Fall heißt der Dampf *ungesättigt* oder *überhitzt*.

Der in Fig. 18 abgebildete Versuch bezog sich zunächst nur auf eine einzige Temperatur. Wie er zur Messung des Dampfdruckes aus dem Unterschiede der Quecksilberhöhen dienen kann, wurde soeben gezeigt; jetzt wollen wir annehmen, es sei diese Messung für eine ganze Reihe verschiedener Temperaturen durchgeführt, und stellen die so gewonnenen Ergebnisse in der folgenden Tabelle (S. 62) zusammen, welche die Sättigungstemperaturen in Celsiusgraden, die Sättigungsdrucke in Millimetern Quecksilberhöhe angibt.

Diese Tabelle enthält also für die als Beispiele gewählten drei Flüssigkeiten zusammengehörige Werte von Temperatur und Druck. Man kann sagen, es sei für jede darin genannte Temperatur der zugehörige Sättigungsdruck angegeben, d. h. derjenige größte Druck, welchen der Dampf bei der genannten Temperatur ausüben kann. Oder man kann auch sagen, für jeden in der Tabelle genannten Druck sei die zugehörige

Digitized by Google

Sättigungstemperatur angegeben, d. h. die tiefste Temperatur, bei welcher der genannte Dampfdruck noch bestehen kann.

Sättigungstemperaturen und -drucke.

	Wasser	Alkohol	Äther
— 20°	0,96 mm	3 mm	68,90 mm
— 10	2,16 „	6 „	114,72 „
0	4,58 „	12,24 „	184,39 „
10	9,18 „	23,77 „	286,83 „
20	17,41 „	44,00 „	432,78 „
30	31,56 „	78,06 „	634,80 „
35	41,85 „	100 „	760,00 „
40	54,97 „	133,42 „	907,04 „
50	92,17 „	219,82 „	1264,83 „
60	149,21 „	350,2 „	1725,01 „
70	233,79 „	540,9 „	2304,90 „
78,4	333,05 „	760,00 „	—
80	355,47 „	811,8 „	3022,79 „
90	526,00 „	1186,5 „	3898,26 „
100	760,00 „	1692,3 „	4953,30 „

Zu einer anderen Deutung der Tabelle kommen wir, indem wir den Vorgang des Siedens betrachten. Er besteht bekanntlich darin, daß in der Flüssigkeit Dampfblasen sich bilden und emporsteigen. In solcher Dampfblase findet ein Druck statt, welcher dem Sättigungsdruck für die herrschende Temperatur gleichkommt; bilden kann sich also diese Blase nur dann, wenn der in der Flüssigkeit herrschende Druck nicht größer ist, als jener Sättigungsdruck, denn sonst würde die Blase schon im Entstehen zusammengedrückt werden. Und so ist der Beginn des Siedens an das Vorhandensein mindestens derjenigen Temperatur gebunden, deren Sättigungsdruck dem in der Flüssigkeit herrschenden (auf ihr lastenden) Druck gleich ist. Demnach können wir endlich die vorstehende Tabelle auch so deuten: sie enthält die Siedepunkte für die einzelnen, darin angegebenen Drucke.

Der im Anfang dieses Kapitels geschilderte Versuch, bei welchem ein Glas Wasser bis zum Sieden erhitzt wurde, gestattet eine Anwendung dieser eben gewonnenen Beziehung. Das Wasser stand unter dem im Zimmer herrschenden Druck einer Atmosphäre, gleich demjenigen von 760 mm Quecksilberhöhe. Es mußte also, ehe das Sieden begann, diejenige Tem-

Digitized by Google

peratur erreicht werden, für welche der Sättigungsdruck des Wassers 760 mm beträgt, d. h. 100°. Die Tabelle gestattet demgemäß, ohne weiteres die Siedepunkte auch der anderen Flüssigkeiten für Atmosphärendruck abzulesen, nämlich diejenigen Temperaturen, deren Sättigungsdruck eine Atmosphäre ist: bei Alkohol 78,4°, bei Äther 35°. Einige weitere Zahlen der gleichen Bedeutung sind folgende:

Siedepunkte beim Druck einer Atmosphäre.

Schwefel	444,5°	Brom	58,75°
Quecksilber	357	Äther	35
Phosphor	287.3	Chlor	— 33,6
Jod	185,3	Kohlensäure	— 80
Anilin	184	Sauerstoff	— 183
Wasser	100	Stickstoff	— 195,7
Benzol	80,3	Wasserstoff	— 253
Alkohol	78,4		

Wie die S. 49 geschilderte Gefrierpunktserniedrigung, so kann durch Lösen anderer Substanzen eine Siedepunktserhöhung des Lösungsmittels bewirkt werden, welche gleichfalls zu der gelösten Menge und insbesondere auch zur Zahl der gelösten Moleküle in geradem Verhältnis steht. Bei Kochsalz ergab die Lösung von 0,439 g in 100 g Wasser eine Erhöhung des Siedepunkts um 0,074°, in einem anderen Fall erhöhte die Lösung von 31,242 g den Siedepunkt um 6,82°.

Der Überschmelzung, von welcher S. 47 die Rede war, entspricht hier die Erscheinung des Siedeverzuges. Eine Flüssigkeit kann über ihren normalen Siedepunkt erhitzt werden, ohne daß Sieden eintritt, wenn sie nicht mit Dampf in Berührung ist. Im geschlossenen Gefäß kann man solche überhitzte Flüssigkeit durch galvanische Zersetzung oder auch durch Schütteln zum Sieden bringen, wobei dann die ganze Masse in stürmisches Sieden übergeht. Umgekehrt kann man auch unterkühlten Dampf erzeugen. Wenn ich z. B. hier in einer Flasche das Wasser durch eine darunter gestellte Flamme siedend erhalte und durch ein nicht zu weites Rohr einen Dampfstrahl austreten lasse, so sehen wir erst in einigem Abstand über der Rohrmündung die weißliche Nebelwolke, welche aus Wassertröpfchen besteht, während zunächst über der Öffnung der Dampf noch nicht kondensiert, sondern unterkühlt ist. Hiervon über-

Digitized by Google

zeugen wir uns leicht, indem wir ohne Änderung von Druck oder Temperatur Staubteilchen an die Rohröffnung bringen und den bisher durchsichtigen Dampfstrahl sich sogleich mit sichtbaren Tröpfchen füllen sehen, bei deren Entstehung die Stäubchen als Ansatzkerne wirken.

Haben wir bisher immer nur von Sieden und Verdampfen der Flüssigkeiten gesprochen, so gelten natürlich die entsprechenden Beziehungen für den umgekehrten Vorgang, das Verflüssigen oder Kondensieren der Dämpfe. Wie wir schon wissen, kann ein Dampf nur bestehen bei einem Druck, der höchstens gleich dem Sättigungsdruck für die herrschende Temperatur ist. Dies lehrt uns der auf S. 59 geschilderte Versuch (Fig. 18). Dasselbe besagt der Satz: Ein Dampf kann nur bestehen, wenn seine Temperatur nicht unter derjenigen liegt, welche für den vorhandenen Druck des Dampfes die Sättigungstemperatur bildet. Steigt der Druck über jenen Sättigungsdruck, oder sinkt die Temperatur unter jene Sättigungstemperatur, so muß die Verflüssigung beginnen. Damit beginnt zugleich ein Sinken des Druckes und ein Steigen der Temperatur, so daß, wenn ein Teil des Dampfes flüssig geworden ist, der Rest wieder bestehen kann. Das Sinken des Druckes bei der Kondensation entsteht, weil derselbe Raum nun weniger Dampf enthält, als vorher; das gleichzeitige Steigen der Temperatur beruht auf Freiwerden gebundener Wärme, wie nachher noch erörtert werden soll.

Druckvermehrung und Abkühlung sind also die Mittel zur Verflüssigung von Dämpfen und Gasen, und um für den Einzelfall die genaueren Bedingungen der Verflüssigung zu kennen, müssen wir Angaben über die zusammengehörigen Werte von Sättigungstemperatur und -druck haben, wie sie für einige Körper in der auf S. 62 mitgeteilten Tabelle enthalten sind. Aus dieser ergibt sich z. B., daß Alkohol unter dem Druck einer Atmosphäre bis 78,4° flüssig ist, daß er aber auch bei 100° noch flüssig gemacht werden kann, wenn man den Druck auf 1692,3 mm Quecksilber, d. h. auf etwa $2^1/_5$ Atmosphären steigert, während Äther, der beim Druck einer Atmosphäre den Siedepunkt 35° hat, bei 100° flüssig wird unter einem Druck von 4953,3 mm Quecksilber, d. i. etwa $6^1/_2$ Atmosphären. Andererseits kann aber auch bei geringeren Drucken die Verflüssigung geschehen, wenn die Temperatur entsprechend herabgesetzt

Digitized by Google

wird. So wird Wasserdampf flüssig bei dem Druck von wenig über $^1/_{200}$ Atmosphäre (4,58 mm Quecksilber), wenn man ihn auf 0^0 abkühlt; Alkohol kann bei weniger als $^1/_{120}$ Atmosphärendruck (6 mm Quecksilber) flüssig sein, wenn er auf -10^0 abgekühlt wird; Äther verflüssigt sich bei etwa $^1/_{10}$ Atmosphäre (68,90 mm Quecksilber), falls er bis -20^0 gekühlt wird.

Solche Erwägungen kommen auch in Betracht bei der Verflüssigung derjenigen Körper, die unter den gewöhnlichen Verhältnissen des Druckes und der Temperatur nicht flüssig werden, und die man, da sie lange nur in Gasform bekannt waren, als „permanente Gase" zu bezeichnen pflegte. Kohlensäure z. B. müßte auf -80^0 abgekühlt werden (vgl. Tabelle S. 63), um beim Druck einer Atmosphäre flüssigen Aggregatzustand anzunehmen, und Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff bedürfen im gleichen Fall noch viel tieferer Temperaturen.

Da die Erreichung so tiefer Temperaturen schwierig ist, hilft man sich durch Einwirkung vermehrten Druckes und benutzt dabei Messungsergebnisse, wie einige in der folgenden Tabelle zusammengestellt sind.

Sättigungstemperaturen und -drucke für schwer zu verflüssigende Körper.

Die Drucke sind teils in Atmosphären angegeben, teils in mm Quecksilberhöhe.

Kohlensäure	Sauerstoff	Stickstoff	Wasserstoff
-80^0 1,00 Atm.	-196^0 138,4 mm	-196^0 717,0 mm	$-258{,}07^0$ 100 mm
-70 2,08	-195 170,0	-195 806	$-256{,}63$ 200
-60 3,90	-190 319,2	-194 906	$-255{,}64$ 300
-50 6,80	-185 560,0	-193 1013	$-254{,}85$ 400
-40 10,25	-183 760	-189 1544,5	$-254{,}18$ 500
-30 c. 15,6		-186 2062	$-253{,}59$ 600
-20 19,93	$-135{,}8^0$ 22,20 Atm.	-183 2686	$-253{,}07$ 700
-10 26,76	$-134{,}8$ 23,18	-182 2916,5	$-252{,}78$ 760
0 35,40	$-133{,}4$ 24,40		$-252{,}59$ 800
10 46,05	$-131{,}6$ 25,85	-193 1 Atm.	
20 58,84	$-129{,}6$ 27,02	$-146{,}6$ 38,45	

Daraus ergibt sich z. B., daß Kohlensäure bei Eiskühlung, also bei einer nur bis 0^0 reichenden Temperaturerniedrigung,

Digitized by Google

durch Druck von 35,4 Atmosphären flüssig wird; benutzt man zum Kühlen eine Kältemischung, deren Wirkung bis -20^0 herabreicht, so genügen 20 Atmosphären zum Verflüssigen. Für technische Zwecke wird flüssige Kohlensäure vielfach hergestellt. Man bedient sich einer Kompressionspumpe, welche das Gas in ein starkwandiges eisernes Gefäß preßt, und entzieht diesem durch eine geeignete Kühlvorrichtung die bei der Kompression dynamisch (S. 36) erzeugte Wärme; nötigenfalls kühlt man die Substanz auch noch soviel weiter ab, daß die Verflüssigung bei der mit der Kompressionspumpe erreichbaren Druckhöhe möglich ist. Wenn nachher das Eisengefäß mit seinem flüssigen Inhalt in einer Umgebung von gewöhnlicher Temperatur aufbewahrt wird, bildet sich darin natürlich der höhere Druck, welcher jetzt der Sättigung entspricht, bei 20^0 also gegen 60 Atmosphären.

Ein solches mit flüssiger Kohlensäure gefülltes Gefäß kann vermöge seines hohen Innendruckes wie ein aufgespeicherter Arbeitsvorrat angesehen und verwendet werden. Beispielsweise benutzt man diese Energiequelle zum Heben von Flüssigkeit. Im Restaurationsbetrieb ist es oft wünschenswert, den Inhalt eines im Keller ruhenden Fasses Bier durch eine entsprechende Röhrenleitung nach den darüber befindlichen Ausschankräumen zu pressen. Dazu wird statt der sonst benutzten Druckpumpe besser ein Gefäß mit flüssiger Kohlensäure verwendet, nicht bloß wegen der größeren Einfachheit des Verfahrens, sondern auch weil dann das Bier nicht mit Luft in Berührung kommt, sondern nur mit Kohlensäure, durch deren teilweise Aufnahme es gewinnt. Bei starken Bränden benutzt die Feuerwehr den Druck flüssiger Kohlensäure, um die Dampfspritze zu betreiben, wenn bei Alarm der nötige Dampfdruck durch die Feuerung nicht sofort erzeugt werden kann. Auch zum Treiben kleiner Motoren hat man statt der Dampfkraft oder sonstiger Druckquellen den Druck flüssiger Kohlensäure zu verwenden gesucht.

Größeren Widerstand als die Kohlensäure setzen die anderen „permanenten" Gase der Verflüssigung entgegen. In einer erheblichen Zahl von Fällen gelang es dadurch, daß man zunächst ein Gas verflüssigte, bei welchem dies mit den verfügbaren Mitteln von Druck und Abkühlung möglich war. Dann ließ man diese Flüssigkeit unter niedrigem Druck verdampfen und erzeugte dadurch eine Verdunstungskälte (vgl. unten S. 73), unter deren Einfluß ein schwerer zu kondensierendes

Digitized by Google

Gas dem gleichen Verfahren unterworfen werden konnte. Stufenweise fortschreitend gelang es so, eine Zahl von Verflüssigungen (Sauerstoff, Kohlenoxyd, Luft, Stickstoff, Wasserstoff) fertig zu bringen. Mehrfach hat man auch lediglich das zu verflüssigende Gas selbst stark zusammengedrückt und dann ausströmen gelassen,

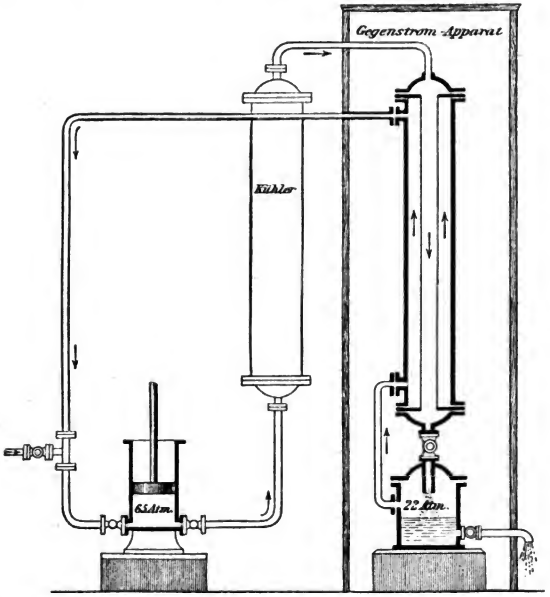


Fig. 19. Verflüssigung von Luft. (Nach Bremer, Leitfaden der Physik.)

wobei durch die dynamische Abkühlung vorübergehend Nebelbildung oder Flüssigkeitsstrahlen sich zeigten.

Eine sinnreiche Vereinigung der verflüssigenden Wirkung von Druck, Abkühlung und Ausdehnung findet sich in der Kältemaschine, welche 1896 von C. Linde angegeben wurde und seither fabrikmäßig zur Herstellung flüssiger Luft verwendet wird. Die in Fig. 19 dargestellte Vorrichtung hat eine als Kompressor bezeichnete Pumpe (links), welche die Luft unter

Digitized by Google

starkem Druck (z. B. 65 Atmosphären) durch ein Ventil nach dem Kühler hintreibt. Hier wird ihr die beim Zusammendrücken erzeugte dynamische Wärme wieder entzogen (z. B. durch Brunnenwasser) und sie gelangt unter dem Druck der Pumpe in den Gegenstromapparat. Dieser besteht aus zwei konzentrisch ineinander steckenden Röhren von 3 und 6 cm lichter Weite. In der Figur sind sie der Einfachheit wegen geradlinig gezeichnet, in Wirklichkeit haben sie 100 m Länge und sind spiralförmig aufgewunden, wobei die einzelnen Windungen voneinander und nach außen mit roher Schafwolle oder dergl. sorgfältig isoliert sind. Durch das innere Rohr fließend wird die Luft, wie wir sogleich sehen werden, weiter abgekühlt und gelangt dann durch ein Ventil in das unter dem Gegenstromapparat gezeichnete Sammelgefäß. Da in diesem ein geringerer Druck (z. B. 22 Atmosphären) herrscht, als im Kompressor, ist mit dem Übertritt in das Sammelgefäß eine Ausdehnung und nochmalige Abkühlung verbunden. Durch ein anderes Rohr tritt nun die Luft aus dem Sammelgefäß in das äußere Rohr des Gegenstromapparates, umspült und kühlt demnach dessen inneres Rohr und wird sodann dem Kompressor durch ein Ventil (links) wieder zugeführt, um den gleichen Kreislauf von neuem zu beginnen. Dabei sinkt die Temperatur sowohl im Gegenstromapparat wie auch im Sammelgefäß dauernd bis zum Eintritt eines Beharrungszustandes, und inzwischen hat im Sammelgefäß, nämlich an der kältesten Stelle der ganzen Vorrichtung, die Bildung flüssiger Luft begonnen. Unter Ansaugung einer entsprechenden Menge von Außenluft kann die Maschine stündlich mehrere Liter Flüssigkeit liefern.

Die flüssige Luft hat bei Atmosphärendruck eine Sättigungstemperatur oder, was ja dasselbe ist, einen Siedepunkt von — 192°. Nachdem ihre fabrikmäßige Herstellung auf verhältnismäßig billige Art gelungen ist, wird sie als bequemes Mittel zur Abkühlung oder Kühlhaltung von Lebensmitteln und sonstigen leicht verderblichen Gegenständen viel benutzt. Zur Ausführung einiger Versuche habe ich hier einen kleinen Vorrat dieser merkwürdigen Flüssigkeit. Sie befindet sich in einem Gefäß, welches soviel als möglich gegen das Eindringen von Wärme aus der Umgebung Schutz gewährt. Außen sehen wir einen Drahtkorb mit dicker Filzlage ausgefüllt, und darin eine doppelwandige Glasflasche, bestehend aus zwei ineinander stecken-

Digitized by Google

den und am Rande zu einem einzigen Glaskörper verschmolzenen Gefäßen. Der zwischen den Wänden liegende Hohlraum ist luftleer gemacht, und die gegen diesen Hohlraum gewendete Fläche der inneren Wand ist versilbert. Der luftleere Raum gibt mehr Wärmeschutz, als eine irgendwie beschaffene und die Wärme doch immerhin leitende Substanz. Und die blanke Silberschicht soll alle etwa eintretenden Strahlen zurückwerfen, ohne daß diese eine Wärmewirkung zu äußern vermögen. In ein kleineres Doppelgefäß ähnlicher Beschaffenheit bringe ich nun zunächst eine kleine Probe der flüssigen Luft. Wir sehen sie stark sieden, denn aus der ursprünglich zimmerwarmen Gefäßwand wird ihr viel Wärme zugeführt; wenn sie allmählich das Gefäß abgekühlt und sich beruhigt hat, erscheint sie als eine blaue Flüssigkeit. Sie verdient aber jetzt eigentlich den Namen „Luft" nicht mehr, denn bei dem vorausgegangenen Sieden hat sie ihre Zusammensetzung geändert. Sauerstoff und Stickstoff, welche in bestimmtem Verhältnis (21 zu 79 Raumteilen) gemischt die atmosphärische Luft bilden, unterscheiden sich merklich dadurch, daß, wie aus den Zahlen S. 63 ersichtlich, unter Atmosphärendruck der Sauerstoff bei -183^{0}, der Stickstoff bei $-195{,}7^{0}$ siedet. Stickstoff hat einen tieferen Siedepunkt, ist flüchtiger, verdampft leichter, und wenn die aus beiden Stoffen gemischte flüssige Luft siedet, so entweicht verhältnismäßig mehr Stickstoff, und die zurückbleibende Flüssigkeit wird immer reicher an Sauerstoff. Das können wir leicht auf folgende Art erkennen. Ein an einem Draht befestigtes Stückchen Watte benetze ich mit der Flüssigkeit und führe es in die farblose Gasflamme eines Bunsenbrenners; sogleich sehen wir die Watte trotz der Kälte mit lebhafter Flamme brennen, gerade wie wenn wir sie in Sauerstoff entzündet hätten. Ebenso kann man auch einen glimmenden Holzspan über die Flüssigkeit halten, um ihn sogleich durch den reichlichen Sauerstoffgehalt der Luft hell aufbrennen zu sehen. Ich fülle das inzwischen abgekühlte Gläschen nun von neuem mit flüssiger Luft und zeige durch einige Versuche die Wirkungen ihrer niedrigen Temperatur. Ein weicher Kautschukschlauch wird durch die Kälte so hart, daß ich damit wie mit einem Stück Holz klappernd auf den Tisch schlagen kann, und er zerspringt unter einem Hammerschlage, wie Glas. Ein Probierglaschen mit Quecksilber zeigt in der flüssigen Luft alsbald Erstarren des Metalls

Digitized by Google

(Erstarrungspunkt -39^0) und umgibt sich, wenn ich es nachher in Wasser tauche, mit einer Eisschicht. Blumen und grüne Pflanzenteile erstarren in der flüssigen Luft durch Gefrieren ihres Zellsaftes zu porzellanartigen Gebilden. Hier habe ich eine Glocke aus Blei mit eisernem Klöppel; sie klingt matt und häßlich bei Zimmertemperatur. Wenn ich aber das Blei stark abkühle, indem ich die Glocke an ihrem hölzernen Stil in die flüssige Luft hineinhalte, gewinnt sie metallischen Klang.

Lasse ich auf ein Gefäß mit Wasser eine kleine Menge flüssiger Luft fallen, so zeigt sich ähnliches, wie bei dem später zu erwähnenden Leydenfrostschen Versuch. Gerade wie ein Wassertropfen auf heißem Metall fährt der Lufttropfen auf dem zimmerwarmen Wasser unter lebhafter Verdampfung umher, ohne die Unterlage zu berühren. Unter ihm bildet sich eine ihn begleitende Eisschicht von wachsender Dicke, deren obere Höhlung die Form des Lufttropfens noch erkennen läßt, wenn dieser bereits verdampft ist und das leere Eisschiffchen auf der Wasserfläche zurückgelassen hat.

Bei den Verflüssigungserscheinungen, von denen wir vorstehend Kenntnis nahmen, muß eine Grenze beachtet werden, die man als kritischen Zustand bezeichnet. Ein Versuch soll uns zunächst die nötige Anschauung liefern. Hier habe ich ein Gläschen von etwa 5 cm Länge und 6—8 mm Weite, halb mit flüssigem Äther gefüllt und zugeschmolzen. Der über der Flüssigkeit befindliche innere Raum ist mit Ätherdampf erfüllt und bei der herrschenden Temperatur gesättigt, der innere Druck ist also gleich dem Sättigungsdruck des Ätherdampfes für die jeweilige Temperatur. Dies Gläschen bringe ich in eine Probierröhre und befestige es mit dieser über einer Gasflamme, von der es langsam erhitzt wird. Damit wir alle den Vorgang verfolgen können, entwerfe ich mittels der Projektionslampe an der Wand ein vergrößertes Bild der Vorrichtung. Mit steigender Temperatur geht immer mehr Flüssigkeit in Dampf über und wächst der Druck nach Maßgabe der auf S. 62 angegebenen Sättigungswerte. Zugleich ändert sich auch die Dichte des Röhrcheninhaltes, und zwar in zweierlei Sinne. Die Flüssigkeit dehnt sich beim Erwärmen aus, ohne darin durch den vermehrten Druck merklich gehindert zu werden, und ihre Dichte wird also im Verlaufe des Versuchs immer geringer. Der Dampf dagegen steht unter einem beständig wachsenden

Digitized by Google

Druck und wird dadurch immer dichter. Während anfangs der Dichteunterschied zwischen Flüssigkeit und Dampf erheblich war, wird er beim Erwärmen geringer, denn die anfangs dichtere Flüssigkeit wird immer leichter, der anfangs leichtere Dampf immer dichter, und schließlich sehen wir eine Temperatur eintreten, bei welcher Flüssigkeit und Dampf gleich dicht sind. Nun ist kein Anlaß mehr, daß die Flüssigkeit im unteren Teil des Röhrchens verbleibt, sondern sie ist jetzt gleich schwer mit dem Dampf, und beide mischen sich und erfüllen gemeinsam den ganzen Innenraum. Wir erkennen das an dem Verschwinden des Meniskus, d. h. der Grenzfläche zwischen Flüssigkeit und Dampf, und sehen nun das ganze Röhrchen mit einer einzigen gleichmäßigen Masse erfüllt. Lösche ich jetzt die Flamme, so erleben wir den ganzen Vorgang nochmals in umgekehrter Folge, der Meniskus tritt wieder auf und die Flüssigkeit erfüllt wieder den unteren Teil des Röhrchens.

Der so von uns beobachtete kritische Zustand ist dadurch definiert, daß Flüssigkeit und Dampf gleiche Dichte oder, was dasselbe sagt, gleiches Volumen haben. Die dazu gehörigen Werte von Temperatur, Druck und Dichte bezeichnet man gleichfalls als kritisch, und kann also sagen, oberhalb der kritischen Temperatur vermöge die Substanz nur noch als Dampf und nicht mehr in flüssigem Zustande zu bestehen. Einige Beispiele kritischer Zahlen sind die folgenden.

Kritische Temperatur und kritischer Druck.

Wasser	365°	200 Atm.	Kohlensäure .	32°	77 Atm.
Schwefelkohlenstoff	273	73	Sauerstoff . .	— 119	51
Chloroform . . .	260	55	Kohlenoxyd .	— 140	36
Alkohol	241	62	Luft	— 141	40
Äther	194	36	Stickstoff . .	— 146	35
Schweflige Säure .	155	79	Wasserstoff . c.	— 242	c. 20
Schwefelwasserstoff	100	92			

Nachdem vorstehend von dem Einfluß des Druckes auf das Verhalten der Dämpfe so vielfach die Rede war, sei darauf hingewiesen, daß es immer nur der eigene Druck eines Dampfes ist, durch den dieser beeinflußt werden kann. Befinden sich in einem abgeschlossenen Raum gleichzeitig verschiedene Gase, so übt deren jedes nach Maßgabe der Menge, in der es vorhanden ist, einen besonderen Druck auf die Wände aus.

Digitized by Google

Diese haben die Summe aller Einzeldrucke auszuhalten, und auf diese Art ist also z. B. der atmosphärische Druck eine Summe vieler Einzelbeträge. Denn zu den begrenzenden Wänden gehört in diesem Fall der Erdboden, die Oberfläche aller darauf befindlichen Körper, und auch die Quecksilberfläche im offenen Schenkel des Barometers. Diese also empfängt die Summe der Einzeldrucke, welche von Stickstoff, Sauerstoff, Kohlensäure, Wasserdampf und den sonst noch in der Luft befindlichen Gasen ausgeübt werden. Die einzelnen Gase (oder Dämpfe) stehen aber jedes für sich nur unter dem Einfluß des eigenen Druckes, und ihr Aggregatzustand oder ihr sonstiges Verhalten wird nicht beeinflußt durch die Anwesenheit anderer gasförmiger Körper im gleichen Raume. Man kann also z. B. die in einem Gefäß befindliche gasförmige Kohlensäure nicht dadurch verflüssigen, daß man den innen herrschenden Druck durch Hineinpressen von Sauerstoff vermehrt. Das Gefäß würde vielleicht zerspringen, denn seine Wände haben die Summe der Drucke von Kohlensäure und Sauerstoff auszuhalten, aber die Kohlensäure steht nur unter ihrem eigenen Druck, und dieser kann durch das Hinzukommen des Sauerstoffs nicht geändert werden. Um von diesem Nebeneinanderbestehen der Gase im gleichen Raum eine Anschauung zu gewinnen, kann man sich vielleicht vorstellen, daß ein Sack gänzlich mit Kartoffeln angefüllt und unfähig sei, deren noch mehr aufzunehmen. Dann ist es aber doch noch möglich, in diesen „vollen" Sack eine erhebliche Menge von Erbsen zu schütten, welche zwischen den Kartoffeln Platz finden. Und wenn jetzt der Sack mit Kartoffeln und mit Erbsen gefüllt ist, bietet er immer noch Raum genug zur Aufnahme zahlreicher Sandkörner.

Hieraus ergibt sich die Möglichkeit, daß eine Flüssigkeit und ihr Dampf in einem Gefäß gleichzeitig vorhanden sein und beide unter verschiedenem Druck stehen können, nämlich wenn zugleich noch andere Gase oder Dämpfe anwesend sind. Der einzelne Dampf steht dann nur unter seinem eigenen Druck, die Flüssigkeit aber unter der Summe der einzelnen Gasdrucke. Auf diese Art kann es also geschehen, daß der Dampf, welcher sich über einer Flüssigkeit befindet, geringeren Druck hat, als zu seiner Sättigung gehört, während die Flüssigkeit selbst unter höherem als dem Sättigungsdruck steht. Dann ist der Dampfraum ungesättigt und kann noch mehr Dampf

Digitized by Google

aufnehmen, die Flüssigkeit aber kann nicht sieden, weil der auf ihr lastende Druck jede entstehende Dampfblase sogleich zusammenpressen würde. In solchem Falle unterbleibt denn auch die Dampfbildung im Innern der Flüssigkeit, sie findet aber an der Oberfläche statt und wird als freiwillige Verdampfung oder als Verdunsten bezeichnet. Voraussetzung dafür ist lediglich das Vorhandensein einer unterhalb ihrer Siedetemperatur befindlichen Flüssigkeit und darüber eines nicht von ihrem Dampfe gesättigten Raumes. Dann verdunstet die Flüssigkeit solange, bis der mit ihr in Berührung befindliche Raum mit dem Dampf gesättigt ist.

Bei allen diesen Übergängen zwischen dem flüssigen und dampfförmigen Aggregatzustand findet eine ganz ähnliche Umsetzung von Wärme statt, wie wir dies beim Schmelzen und Erstarren kennen lernten. Wird Flüssigkeit in Dampf verwandelt, so wird eine gewisse Wärmemenge dazu verbraucht, welche man auch hier als gebundene oder latente Wärme, und zwar als Verdampfungswärme bezeichnet; und geht Dampf in flüssigen Zustand über, so wird eine ebenso große Wärmemenge frei, als beim Verdampfen gebunden wurde, und heißt dann Kondensationswärme. Solche Vorgänge begegnen uns im täglichen Leben fortwährend. Wenn ein Regenguß uns im Freien ohne Schirm überrascht und unseren Anzug durchnäßt, so eilen wir nach Hause, um trockene Kleider anzulegen und uns vor Erkältung zu schützen. Denn an der nassen Oberfläche beginnt alsbald die Verdunstung, welche zur Überführung des Wassers in Dampf eine erhebliche Wärmemenge verbraucht und diese aus der nächsten Umgebung entnimmt, also dem Körper entzieht. So entsteht die Verdunstungskälte, deren gesundheitsschädliche Wirkung wir in solchem Fall mit Recht zu vermeiden suchen. Auf gleichem Zusammenhang beruht das bekannte Verfahren zur Feststellung der Windrichtung, bestehend im Emporhalten eines benetzten Fingers. Auf der Windseite wird die Feuchtigkeit durch die stets erneute Luft besonders schnell zum Verdampfen gebracht, und hier macht sich demnach die Verdunstungskälte fühlbarer, als an den anderen Seiten.

Um dies zu zeigen, benutze ich das bereits früher (S. 23, Fig. 11) verwendete Thermoskop, diesmal mit einem etwa halbkugelig geformten Glasgefäß als Lufthermometer, und lege

Digitized by Google

auf dessen flache Oberseite ein Stück Fließpapier. Sobald ich dies mit Wasser benetze, erkennen wir am Sinken der Temperatur die Verdunstungskälte, namentlich wenn ich durch Blasen den entstehenden Dampf rasch entferne und die Verdampfung beschleunige. Noch deutlicher als Wasser wirkt Alkohol oder Äther.

Ein weiterer Versuch soll uns die Verdunstungskälte noch einer anderen Flüssigkeit zeigen. Auf ein Brettchen gieße ich eine kleine Menge Wasser, lege darauf ein Uhrglas und fülle dies mit Schwefelkohlenstoff. Sodann richte ich den Luftstrom eines Blasebalges auf die Oberfläche dieser Flüssigkeit und beschleunige durch das rasche Wegblasen des entstehenden Dampfes die ohnehin schon rasche Verdunstung der flüchtigen Substanz. Hierbei wird die zur Dampfbildung verbrauchte Wärme in so großer Menge und Geschwindigkeit der Umgebung entzogen, daß das Uhrglas stark abgekühlt wird und das mit ihm in Berührung befindliche Wasser gefriert. Nachdem der Schwefelkohlenstoff verdampft ist, kann ich das Uhrglas nicht aufheben, ohne das durch eine Eisschicht mit ihm verbundene Brettchen mitzunehmen.

Wie beim Verdampfen Wärme gebunden wird, so ist der umgekehrte Vorgang, das Verflüssigen von Dampf, mit Freiwerden von Wärme verbunden. Ich werde auch dies durch einen Versuch zeigen und dabei zugleich eine Messung der umgesetzten Wärmemenge ausführen. In einem dünnwandigen Glase habe ich gerade ein Liter Wasser von 20°. Daneben befindet sich ein Kochfläschchen mit Wasser, aus dessen verkorkter Öffnung ein zweimal gebogenes Rohr derartig hinausführt, daß es in das erstgenannte Gefäß bis nahe zum Boden eintaucht. Um dies vor Strahlungswärme zu schützen, ist zwischen beiden Gefäßen ein Pappdeckel angebracht. Nun erhitze ich das Kochfläschchen und lasse den sich bildenden Dampf in das Wasser des anderen Gefäßes eintreten, wo jede Blase unter knatterndem Geräusch sogleich zu Wasser kondensiert wird. Nach einiger Zeit höre ich mit dem Einleiten des Dampfes auf und stelle fest, daß die Temperatur des Wassers von 20 auf nahezu 38° gestiegen und zugleich das Gewicht des vor dem Versuch bereits gewogenen Gefäßes um 30 g gewachsen ist. Daraus kann die beim Kondensieren des Wasserdampfes frei gewordene Wärmemenge leicht berechnet werden, indem wir davon ausgehen, daß der im Betrage von 30 g hinzugekommene Dampf von 100°

Digitized by Google

zu Wasser von 38° umgewandelt wurde und dabei soviel Wärme hergab, als nötig war, um 1000 g Wasser von 20 auf 38° zu erhitzen. Diese letztere Menge berechnet sich leicht zu 18 Kilogramm-Kalorien, und ebensoviel muß also dem Wassergefäß durch den eingeleiteten Dampf zugeführt sein. Da nun 30 g kondensiertes Wasser beim Abkühlen von 100 auf 38° eine Wärmemenge von $0{,}030 \times 62 = 1{,}86$ Kal. abgeben, so bleiben 16,14 Kal. übrig als diejenige Wärme, welche beim Verwandeln der 30 g Dampf von 100° in Wasser von 100° frei wurden. Bei genauerer Temperaturbestimmung unter Berücksichtigung der Zehntelgrade erhält man die Verdampfungs- (oder Kondensations-) Wärme des Wassers zu 536 Kal., d. h. um eine Wassermenge von 100° in Dampf der gleichen Temperatur zu verwandeln, ist 5,36 mal soviel Wärme nötig, als zur Erhitzung der gleichen Wassermenge von 0 auf 100°.

In ähnlicher Weise hat man die Verdampfungswärme zahlreicher Körper bestimmt, und die folgende Tabelle enthält einige der hierbei gewonnenen Zahlen. Dieselben geben an, wieviel Kilogramm-Kalorien erforderlich sind, um bei der angegebenen Temperatur 1 kg der Flüssigkeit in Dampf zu verwandeln.

Verdampfungswärme.

	Temperatur	Verdampfungswärme		Temperatur	Verdampfungswärme
Quecksilber . .	358°	68 Kal.	Kohlensäure, flüssig	— 25°	72 Kal.
Schwefel . . .	316	362		0	57
Phosphor . . .	287	130	Stickstoffoxydul .	— 20	67
Chlor	— 22	67		0	60
Brom	58	46	Schweflige Säure	— 10	96
Jod	c. 174	24	Schwefelkohlenstoff	46	87
Sauerstoff . . .	— 188	58	Ammoniak . . .	17	296
Stickstoff . . .		50	Benzol	80	93
Luft		44	Alkohol	78	205
Wasser	100	536	Äther	35	90

Eine Anwendung des beim Verdampfen stattfindenden Wärmeverbrauchs wurde bereits oben (S. 66) erwähnt, nämlich die zur Verflüssigung schwer kondensierbarer Gase benutzte Abkühlung verdampfender Substanz, und es soll nun hier etwas ausführlicher eine solche Vorrichtung geschildert werden, die zur stufenweisen Kälteerzeugung und schließlich zur Verflüssigung von Luft gedient hat. Ein Gemisch von Kohlensäure und

Digitized by Google

schwefliger Säure, die sogenannte „Pictetsche Flüssigkeit", wurde unter Abkühlung durch eine Druckpumpe in flüssigen Zustand versetzt und in ein Sammelgefäß gepreßt, aus dessen oberem Teil andererseits der sich bildende Dampf fortwährend abgesaugt wurde. Indem die Substanz dann immer von neuem durch denselben Weg getrieben, zusammengepreßt und verflüssigt wurde und in dem Sammelgefäß verdampfte, entstand in diesem durch Verdunstungskälte eine Temperatur von -80^0. Diese benutzte man zur Abkühlung eines zweiten Gases, des Stickstoffoxyduls, welches durch Pumpen ebenfalls flüssig gemacht, in ein Sammelgefäß gepreßt und als Dampf aus diesem abgesaugt wurde, um von neuem gekühlt und verflüssigt zu werden. So entstand im zweiten Sammelgefäß eine Temperatur von -130^0 und konnte wiederum zur Kühlung eines dritten Gases dienen, welches gleichfalls in der beschriebenen Weise zusammengepreßt, verflüssigt und freigelassen wurde. Bei Anwendung von Luft erlangte man so -200 bis -210^0.

Wie man später durch den Gegenstromapparat die Verflüssigung der Luft ohne Zuhilfenahme anderer Substanzen zustande brachte, wurde bereits oben (S. 67) geschildert. Auch hierbei ist die Verdunstungskälte von wesentlicher Bedeutung für das Vorkühlen der zu verflüssigenden Luft, und ebenso auch bei den meisten derjenigen Versuche, durch welche wir die besonderen Eigenschaften dieser merkwürdigen Flüssigkeit kennen lernten.

Von praktischer Bedeutung ist die Verdampfungswärme bei vielen Gelegenheiten, als deren eine hier noch die Dampfheizung ganzer Gebäude genannt sei. Eine solche Anlage bietet ebenso wie die S. 9 erwähnte Wasserheizung den Vorteil, daß man von einer einzigen Feuerstelle aus die sämtlichen Räume des Hauses mit Wärme versehen kann. Die Feuerung wirkt auf die Wasserfüllung eines Dampfkessels und verwandelt einen Teil des Wassers in Dampf, wobei an diesen eine entsprechende Wärmemenge übertragen und durch die Verdampfung gebunden wird. Der so zum Träger der Wärme gewordene Dampf steigt in Röhren empor und wird nach den einzelnen Heizkörpern hingeleitet. Während aber die Röhren durch schlecht leitende Umhüllung gegen Wärmeverlust möglichst geschützt sind, hat man den Heizkörpern eine recht große Oberfläche („Rippenkörper") und damit eine Form gegeben, vermöge deren sie zur

Digitized by Google

Abgabe von Wärme an die Umgebung besonders geeignet sind. Sie heizen also die Zimmer, in welchen sie angebracht sind, und entnehmen die hierbei hergegebene Wärme aus dem Vorrat, welchen ihnen der Dampf gebracht hat. Dieser hinwiederum ist in gesättigtem Zustand emporgestiegen und kann Wärme nur hergeben unter gleichzeitiger Umwandlung in Wasser. Dem Dampf wird also seine mitgeführte, gebundene Wärme entzogen, und indem er sie an die zu heizenden Räume abgibt, wird er zu Wasser, welches in den Kessel hinabfließt, um alsbald mit neuem Wärmevorrat beladen den Aufstieg zu wiederholen.

V. Kapitel.

Verhalten des Wasserdampfes in der Atmosphäre. Dampf- und andere Wärmemaschinen.

Die im vorigen Kapitel geschilderten Beziehungen zwischen dem flüssigen und dem dampfförmigen Aggregatzustand gewinnen für unser Leben und Befinden erhöhte Bedeutung im Verhalten der atmosphärischen Feuchtigkeit. Von dieser soll zunächst die Rede sein. Das Vorhandensein von Wasserdampf in der Luft erkennen wir jedesmal bei seiner Verdichtung zu flüssiger oder fester Form, also aus dem Auftreten von Regen, Schnee, Hagel, Nebel und Wolken ebenso wie beim Beschlagen der Fenster oder am Sichtbarwerden unseres Hauches in kalter Luft. Und andererseits bemerken wir bei lange dauerndem Sonnenschein das Austrocknen des Bodens und der Pflanzen und können daraus schließen, daß das verdunstete Wasser als Dampf in die Luft übergegangen ist. Solche Änderungen im Aggregatzustand der atmosphärischen Feuchtigkeit finden fortwährend statt, und ihnen haben wir vorzugsweise die Mannigfaltigkeit der Witterungserscheinungen zuzuschreiben. Sowohl am Boden wie auch in der Höhe wechselt beständig die Menge des vorhandenen Dampfes, und wir vermögen darum keineswegs aus der an einer Stelle vorhandenen und gemessenen Dampfmenge etwa einen Schluß zu ziehen auf diejenige Menge, welche in der Nähe oder über dem Beobachtungsorte sich befinden mag. Eine solche Erwägung erscheint

Digitized by Google

nötig, weil die an einer Stelle vorhandene Dampfmenge gewöhnlich durch diejenige Quecksilberhöhe, welche den gleichen Druck ausübt, gemessen und bezeichnet wird, und weil diese Ausdrucksweise leicht zu der Meinung führen kann, als bilde der Wasserdampf eine gesonderte Atmosphäre von solcher Art, wie man es für den Sauerstoff oder Stickstoff ja annehmen darf. Diese Gase üben in der Tat am Boden Drucke aus, welche der über der Beobachtungsstelle vorhandenen Menge des einzelnen Gases entsprechen, falls nicht etwa ausnahmsweise durch starke und ausgedehnte Luftströmungen das Gleichgewicht gestört ist. Aber diese Luftbestandteile sind auch in unveränderlicher Menge vorhanden, während der Wasserdampf durch Bilden und Verschwinden von Wolken, durch Niederschläge usw. beständigen Änderungen seines Bestandes unterworfen ist und zum Gleichgewicht kaum je irgendwo gelangt.

Indem wir den an einer einzelnen Stelle herrschenden Dampfgehalt der Luft angeben, geschieht es, wie gesagt, durch Nennung desjenigen Quecksilberdrucks, welcher dem Einzeldruck des Wasserdampfes gleichkommt, oder desjenigen Teiles des Barometerstandes, welcher vom örtlichen Einfluß des Wasserdampfes herrührt. Diese in Millimetern angegebene Größe heißt *Dampfdruck* oder *absolute Luftfeuchtigkeit*, und nahezu die gleiche Zahl gibt auch an, wieviel Gramm Wasserdampf in einem Kubikmeter Luft enthalten sind. Bezieht man das Gewicht des Dampfes nicht auf die Raumeinheit, sondern auf die Gewichtseinheit der Luft, welcher der Dampf beigemengt ist, so kann man den Feuchtigkeitsgehalt auch als *spezifische Feuchtigkeit* oder als *Mischungsverhältnis* angeben, nämlich als diejenige Zahl von Grammen Wasserdampf, die in einem Kilogramm feuchter Luft enthalten oder einem Kilogramm trockener Luft beigemengt ist. Aus den im vorigen Kapitel gemachten Angaben (S. 62) geht bereits hervor, wieviel Dampf höchstens bei den verschiedenen Temperaturen in einem Raume bestehen kann. Da nun das Vorhandensein anderer Gase im gleichen Raum keinen Einfluß auf den Dampf ausübt, sind jene Zahlen ohne weiteres auch für den Sättigungsdruck desjenigen Dampfes gültig, welcher der atmosphärischen Luft beigemengt ist, und wir können also die dort gewonnene Anschauung sogleich auf die atmosphärische Feuchtigkeit anwenden. Die Sättigungstemperaturen und -drucke für Wasserdampf sind in der folgenden Tabelle nochmals zu-

Digitized by Google

sammengestellt, einerseits beschränkt auf die in unserem Klima vorkommenden Lufttemperaturen, andererseits innerhalb dieser Grenzen ausführlicher.

Sättigungstemperaturen und -drucke des Wasserdampfes.

Temperatur	Druck	Temperatur	Druck	Temperatur	Druck
— 20°	0,96 mm	— 2°	3,96 mm	12°	10,48 mm
— 15	1,45	— 1	4,26	13	11,19
— 14	1,57	0	4,58	14	11,94
— 13	1,70	1	4,92	15	12,73
— 12	1,85	2	5,29	16	13,56
— 11	2,00	3	5,68	17	14,45
— 10	2,16	4	6,09	18	15,38
— 9	2,34	5	6,53	19	16,37
— 8	2,52	6	7,00	20	17,41
— 7	2,72	7	7,49	21	18,50
— 6	2,94	8	8,02	22	19,66
— 5	3,17	9	8,58	23	20,88
— 4	3,41	10	9,18	24	22,18
— 3	3,68	11	9,81	25	23,55

Auch hier können wir wieder sagen: jeder der angegebenen Sättigungsdrucke bezeichnet den höchsten Druck, welchen der Dampf bei der daneben genannten Temperatur haben kann; und jede der angegebenen Sättigungstemperaturen bezeichnet die niedrigste Temperatur, bei welcher der daneben genannte Druck noch bestehen kann. Wird dampfhaltige Luft erwärmt, so wächst ihre Fähigkeit zur Aufnahme von Wasserdampf. Wird ihr dagegen Wärme entzogen, so sinkt ihre Temperatur zunächst bis zu derjenigen Grenze, für welche die vorhandene Dampfmenge gerade die Sättigung bedeutet; bei weiterer Wärmeentziehung kann die ganze Dampfmenge nicht mehr als solche weiterbestehen, sondern beginnt sich zu Wasser (oder zu Eis, wenn die Temperatur unter 0° liegt) zu verdichten. Darum wird jede der Temperaturen in der vorstehenden Tabelle auch als **Taupunkt** für den danebenstehenden Dampfdruck bezeichnet, und hiermit ist ausgedrückt, daß die Kondensation (Bildung von Tau, Reif, Nebel, Wolken, Regen, Schnee) eintritt, wenn bei einem gewissen Dampfdruck die Luft bis zu der entsprechenden Sättigungstemperatur abgekühlt ist, und die Wärmeentziehung fortgesetzt wird.

Digitized by Google

Für die Gestaltung des Wetters und demnach auch für unser Miterleben der Witterung ist natürlich die Kondensation samt den Vorbedingungen ihres Eintritts von besonderer Bedeutung, und demnach hat man für den Feuchtigkeitsgehalt der Luft noch eine besondere Bezeichnungsweise im Gebrauch, bei welcher ausdrücklich erkennbar ist, wie weit der tatsächliche Zustand der Luft einer Kondensation günstig ist. Man drückt nämlich die vorhandene Dampfmenge in Prozenten derjenigen Menge aus, welche bei der herrschenden Temperatur zur Sättigung nötig wäre, und bezeichnet so als *relative Feuchtigkeit* das Verhältnis der wirklichen zur höchstmöglichen Dampfmenge. Bei völlig gesättigter Luft beträgt die relative Feuchtigkeit 100%, und dies bedeutet, daß der Taupunkt erreicht ist; bei 50 % ist nur die Hälfte der Dampfmenge vorhanden, welche zur Sättigung gehörte, und bei 0% ist die Luft ganz trocken. Als Beispiel sei erwähnt, daß in Berlin die relative Feuchtigkeit durchschnittlich während des Jahres 74% beträgt, und daß die Monatsmittel zwischen 84 (Dezember und Januar) und 64 (Mai) Prozent liegen; in Helgoland fand man im Jahresmittel 84, als extreme Monatswerte 90 (Januar) und 78 (Mai) Prozent.

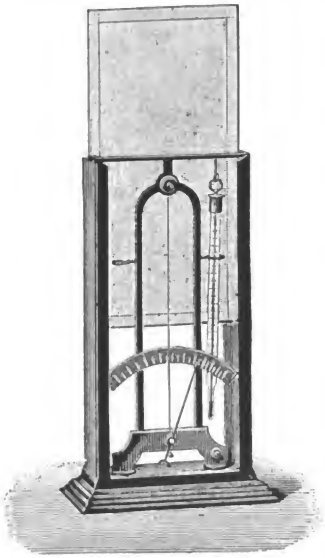


Fig. 20. Haarhygrometer.
(Nach Börnstein, Wetterkunde.)

Die Messung der Luftfeuchtigkeit erfolgt mittels der als *Hygrometer* oder *Psychrometer* bezeichneten Apparate. Dabei kann man die Eigenschaft mancher organischen Körper benutzen, welche bei Änderungen der Luftfeuchtigkeit Gestaltsänderungen zeigen. Es beruht hierauf die Anwendung des *Haarhygrometers* (Fig. 20), in welchem ein entfettetes

Digitized by Google

Menschenhaar ausgespannt ist und durch seine wechselnde Länge die schwankende relative Luftfeuchtigkeit erkennen läßt. Das obere Ende des Haares ist in einem Rahmen befestigt, das untere ist um eine leicht drehbare Achse geschlungen und an seinem herabhängenden Ende mit einem kleinen Metallgewicht belastet. Wird das Haar länger oder kürzer, so dreht sich die Achse samt dem an ihr befestigten Zeiger, und dieser bezeichnet an der Teilung die vorhandene relative Feuchtigkeit. Um den Apparat wenigstens für die hauptsächlich vorkommenden hohen Feuchtigkeiten zu prüfen, bedient man sich eines mit Musselin bespannten Rahmens, der mit Wasser benetzt und samt dem ganzen Instrument in ein Glasgehäuse eingeschlossen wird. Dann verdampft von der großen Oberfläche des nassen Gewebes soviel Feuchtigkeit, daß der Innenraum alsbald gesättigt ist und also 100% relativer Feuchtigkeit enthält. Zeigt das Instrument hierbei eine andere Zahl als 100, so wird durch eine einfache Vorrichtung der Zeiger in die richtige Stellung gebracht.

Fig. 21. Kondensationshygrometer. (Nach Bremer, Leitfaden der Physik.)

Dem gleichen Zweck dient das in Fig. 21 dargestellte Taupunkts- oder Kondensationshygrometer. In einem Gefäß, dessen Außenseite eine fein polierte Metallfläche enthält, befindet sich Äther und wird mittels durchgesaugter Luft zum Verdampfen gebracht. Die erzeugte Verdunstungskälte bewirkt einen Beschlag feiner Wassertröpfchen auf der blanken Außenfläche, sobald deren Temperatur auf den Taupunkt der umgebenden Luft gesunken ist. Man kann an dem innen befindlichen Thermometer diesen Taupunkt ablesen und dann aus unserer vorstehenden Tabelle (S. 79) sowohl die absolute wie auch die relative Feuchtigkeit herleiten, letztere unter Zuhilfenahme einer in der umgebenden Luft vorgenommenen Temperaturmessung. Die Ablesung des inneren Thermometers muß freilich mit aller Vorsicht geschehen, damit nicht etwa durch den Atem des Beobachters das Ergebnis der Feuchtigkeitsmessung beeinträchtigt wird. Man bedient sich daher zweckmäßig eines Fernrohrs, um aus genügendem Abstand das Ent-

Digitized by Google

stehen des Beschlages zu beobachten, und tut außerdem gut, auch diejenige Temperatur abzulesen, bei welcher der Beschlag wieder verschwindet, um als Mittel beider Ablesungen den Taupunkt zu berechnen. Ist beispielsweise bei 15° Lufttemperatur ein Taupunkt von 10° gefunden, so beträgt der Dampfdruck (die absolute Feuchtigkeit) 9,18 mm; und da bei 15° der Sättigungsdruck 12,73 mm sein würde, ist die relative Feuchtigkeit $100 \times 9{,}18/12{,}73 = 72{,}1\,\%$.

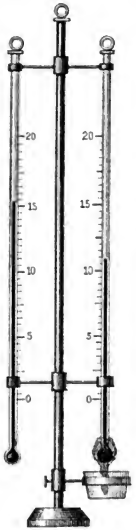


Fig. 22. Psychrometer. (N. Bremer, Leitfaden d. Physik.)

Größere Sicherheit der Feuchtigkeitsmessung gewährt das Augustsche Psychrometer, welches in seiner älteren, einfachen Gestalt durch Fig. 22 dargestellt ist. Es besteht aus zwei gleichen, empfindlichen Thermometern, deren eines, das „feuchte", an seinem Quecksilbergefäß einen Überzug aus Musselin trägt, welcher durch Wollfäden mit einem Wassernäpfchen verbunden ist und dadurch stets feucht erhalten wird. Indem von der feuchten Stofffläche das Wasser verdampft, bewirkt die Verdunstungskälte, daß das feuchte Thermometer tiefer steht, als das trockene, und dieser Unterschied, den man die „psychrometrische Differenz" nennt, kann als Maß für die Feuchtigkeit der umgebenden Luft dienen. Denn je weiter diese von der Sättigung entfernt ist, um so mehr Dampf kann sie noch aufnehmen, und um so größer ist die Verdunstungskälte und die psychrometrische Differenz. In neuerer Zeit pflegt man den Apparat als „Aspirationspsychrometer" zu gestalten und durch Luftbewegung gegen Strahlung zu schützen. Es wird nämlich die Kugel jedes der beiden Thermometer im Innern einer außen blank polierten und unten offenen Metallröhre angebracht, durch welche mittels geeigneter Vorrichtung ein Strom angesaugter Luft getrieben wird. Soweit die Sonnenstrahlung nicht von der polierten äußeren Röhrenwand zurückgeworfen wird und also den Stand des Thermometers über die Lufttemperatur emporzutreiben beginnt, wird dieser zugestrahlte Wärmeüberschuß sogleich der Thermometerkugel von der rasch vorübergeführten Luft entzogen, so daß das Instrument von der Temperatur der Außenluft nicht abzuweichen vermag.

Digitized by Google

Die nachfolgenden, als Psychrometertafeln bezeichneten Tabellen können zur Herleitung der Feuchtigkeit aus den Angaben des trockenen und des feuchten Thermometers dienen. Nennen wir die Temperaturen, welche diese beiden Instrumente zeigen, t und f, also die psychrometrische Differenz $t-f$, und bedeutet ferner m_f den der Temperatur f entsprechenden Sättigungsdruck, a die absolute, r die relative Feuchtigkeit, T den Taupunkt und b den Barometerstand, so dient zur Berechnung der absoluten Luftfeuchtigkeit die Formel

$$a = m_f - \frac{1}{2}(t-f)\frac{b}{755}.$$

Der letzte Faktor $b/755$ kann auch wegbleiben, solange es sich um mittlere Barometerstände handelt; er kommt dagegen bei kleineren Luftdrucken in Betracht, wie sie z. B. der Luftschiffer zu beobachten hat. Bei derjenigen Feuchtigkeit, welche vorher angenommen wurde, zeigt das trockene Thermometer 15°, das feuchte 12,2°; die psychrometrische Differenz ist also 2,8°, und die Tabelle ergibt die absolute Feuchtigkeit zu 9,2 mm, die relative zu 72% und den Taupunkt zu 10,1°.

Diese Apparate und Methoden zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit sind um so wichtiger, als wir nicht die Fähigkeit haben, unmittelbar und ohne Meßinstrumente den Feuchtigkeitszustand der uns umgebenden Luft zu erkennen. Nur ausnahmsweise wirkt dieser auf unser Empfinden, und auch dann pflegt die Feuchtigkeit nicht zu bewußter Wahrnehmung zu gelangen. Wenn nämlich die relative Feuchtigkeit sehr groß ist und die Luft also kaum noch Dampf aufzunehmen vermag, unterbleibt die an der Oberfläche unseres Körpers gewöhnlich stattfindende Verdunstung, und zugleich fällt auch die entsprechende Verdunstungskälte weg. Es verbleibt also bei gehinderter Verdampfung dem Körper die Wärme, welche er gewöhnlich zur Dampfbildung herzugeben pflegt, und die Folge ist ein unbehagliches Gefühl der Schwüle sowie starke Absonderung von Schweiß. Umgekehrt empfinden wir in sehr trockener Luft die verstärkte Verdunstung als Abkühlung, und haben es beispielsweise dieser Ursache zuzuschreiben, wenn im Gebirge, wo die relative Feuchtigkeit erheblich geringer als im Tal zu sein pflegt, das Wandern uns durch erfrischende Kühle und durch Ausbleiben der Schweißbildung so fühlbar erleichtert wird. In beiden Fällen können wir aus der bloßen Temperatur-

Digitized by Google

beobachtung keine Erklärung unseres Empfindens herleiten, sondern gewinnen dafür ein Verständnis erst bei Beachtung der Luftfeuchtigkeit.

Psychrometertafel.

t	Psychrometrische Differenz. 0^0			1^0			2^0		
	a	r	T	a	r	T	a	r	T
-20^0	0,8 mm	100 %	-20^0	—	—	—	—	—	—
−15	1,3	100	−15	0,6 mm	55 %	$-22,0^0$	—	—	—
−10	2,0	100	−10	1,3	66	−14,5	0,6 mm	33 %	$-22,0^0$
− 9	2,2	100	− 9	1,5	68	−13,2	0,8	37	−19,8
− 8	2,3	100	− 8	1,7	70	−12,0	1,0	42	−17,8
− 7	2,6	100	− 7	1,8	72	−10,7	1,2	45	−15,9
− 6	2,8	100	− 6	2,1	74	− 9,5	1,3	48	−14,2
− 5	3,0	100	− 5	2,3	75	− 8,3	1,6	51	−12,6
− 4	3,3	100	− 4	2,5	77	− 7,1	1,8	54	−11,1
− 3	3,6	100	− 3	2,8	78	− 5,9	2,0	57	− 9,7
− 2	3,9	100	− 2	3,1	79	− 4,8	2,3	59	− 8,2
− 1	4,2	100	− 1	3,4	80	− 3,7	2,6	61	− 6,9
0	4,6	100	0	3,7	81	− 2,5	2,9	63	− 5,6
1	4,9	100	1	4,1	83	− 1,4	3,2	65	− 4,3
2	5,3	100	2	4,4	84	− 0,4	3,6	68	− 3,0
3	5,7	100	3	4,8	84	0,6	3,9	69	− 1,9
4	6,1	100	4	5,2	85	1,7	4,3	70	− 0,8
5	6,5	100	5	5,6	86	2,8	4,7	72	0,3
6	7,0	100	6	6,0	86	3,9	5,1	73	1,5
7	7,5	100	7	6,5	87	4,9	5,5	74	2,6
8	8,0	100	8	7,0	87	6,0	6,0	75	3,8
9	8,6	100	9	7,5	88	7,0	6,5	76	4,9
10	9,2	100	10	8,1	88	8,1	7,0	76	6,1
11	9,8	100	11	8,7	88	9,2	7,6	77	7,2
12	10,5	100	12	9,3	89	10,2	8,1	78	8,3
13	11,2	100	13	10,0	89	11,3	8,8	79	9,4
14	11,9	100	14	10,7	90	12,3	9,5	79	10,5
15	12,7	100	15	11,4	90	13,3	10,1	80	11,6
16	13,6	100	16	12,2	90	14,4	10,9	81	12,6
17	14,4	100	17	13,1	90	15,4	11,7	81	13,7
18	15,4	100	18	14,0	91	16,4	12,6	82	14,8
19	16,4	100	19	14,9	91	17,5	13,4	82	15,9
20	17,4	100	20	15,9	91	18,5	14,4	83	16,9
21	18,5	100	21	16,9	91	19,5	15,4	83	18,0
22	19,7	100	22	18,0	92	20,6	16,4	83	19,0
23	20,9	100	23	19,2	92	21,6	17,5	84	20,1
24	22,2	100	24	20,4	92	22,6	18,7	84	21,1
25	23,5	100	25	21,7	92	23,6	19,9	84	22,2

Digitized by Google

t	Psychrometrische Differenz. 3°			4°			5°		
	a	r	T	a	r	T	a	r	T
−7°	0,5 mm	18%	−25,2°	—	—	—	—	—	—
−6	0,7	22	−21,9	—	—	—	—	—	—
−5	0,8	28	−19,2	—	—	—	—	—	—
−4	1,1	32	−16,9	0,3 mm	11%	−28,3°	—	—	—
−3	1,3	36	−14,8	0,6	16	−23,6	—	—	—
−2	1,5	39	−12,8	0,8	20	−20,0	—	—	—
−1	1,8	43	−11,0	1,0	24	−17,2	—	—	—
0	2,1	46	− 9,4	1,3	28	−14,6	0,5 mm	12%	−24,0°
1	2,4	49	− 7,8	1,6	32	−12,4	0,8	16	−19,8
2	2,7	52	− 6,3	1,9	36	−10,5	1,1	21	−16,6
3	3,1	54	− 4,8	2,2	39	− 8,7	1,4	25	−13,9
4	3,4	56	− 3,6	2,6	42	− 6,9	1,7	28	−11,5
5	3,8	58	− 2,3	2,9	45	− 5,4	2,1	32	− 9,4
6	4,2	60	− 1,1	3,3	47	− 4,0	2,4	35	− 7,6
7	4,6	61	0,0	3,7	49	− 2,7	2,8	37	− 6,0
8	5,0	63	1,3	4,1	51	− 1,4	3,2	40	− 4,5
9	5,5	64	2,5	4,5	53	− 0,1	3,6	42	− 3,0
10	6,0	65	3,8	5,0	54	0,2	4,0	44	− 1,6
11	6,5	66	5,0	5,5	56	2,5	4,5	46	− 0,2
12	7,1	68	6,2	6,0	57	3,8	5,0	48	1,2
13	7,7	69	7,3	6,6	59	5,3	5,5	49	2,6
14	8,3	70	8,5	7,2	60	6,3	6,1	51	4,0
15	9,0	70	9,7	7,8	61	7,6	6,7	52	5,3
16	9,7	71	10,8	8,5	62	8,8	7,3	54	6,6
17	10,4	72	11,0	9,2	63	10,0	8,0	55	7,9
18	11,2	73	13,0	9,9	64	11,2	8,7	56	9,2
19	12,1	74	14,2	10,7	65	12,3	9,4	57	10,4
20	13,0	74	15,3	11,6	66	13,5	10,2	59	11,6
21	13,9	75	16,4	12,4	67	14,7	11,1	60	12,8
22	14,9	76	17,5	13,4	68	15,8	12,0	61	14,0
23	15,9	76	18,5	14,4	69	16,9	12,9	61	15,2
24	17,0	77	19,6	15,4	69	18,0	13,9	62	16,4
25	18,2	77	20,7	16,5	70	19,1	14,9	63	17,5

Digitized by Google

t	Psychrometrische Differenz. 6°			7°			8°		
	a	r	T	a	r	T	a	r	T
3°	0,6 mm	10%	−23,0°	—	—	—	—	—	—
4	0,9	15	−18,7	—	—	—	—	—	—
5	1,2	19	−15,3	0,4 mm	6%	−27,1°	—	—	—
6	1,6	23	−12,5	0,7	10	−20,9	—	—	—
7	1,9	26	−10,3	1,1	14	−16,7	—	—	—
8	2,3	28	− 8,3	1,4	18	−13,6	0,6 mm	7%	−23,2°
9	2,7	31	− 6,5	1,8	21	−11,1	0,9	11	−18,4
10	3,1	34	− 4,8	2,2	24	− 8,9	1,3	14	−14,7
11	3,5	36	− 3,2	2,6	26	− 6,9	1,7	17	−11,8
12	4,0	38	− 1,7	3,0	29	− 5,0	2,1	20	− 9,4
13	4,5	40	− 0,2	3,5	31	− 3,3	2,5	23	− 7,1
14	5,0	42	1,3	4,0	33	− 1,7	3,0	25	− 5,1
15	5,6	44	2,8	4,5	36	− 0,1	3,5	27	− 3,3
16	6,2	45	4,2	5,1	37	1,5	4,0	30	− 1,6
17	6,8	47	5,6	5,7	39	3,1	4,6	32	0,0
18	7,5	48	7,0	6,3	41	4,5	5,2	34	1,7
19	8,2	50	8,3	7,0	42	6,0	5,8	35	3,3
20	8,9	51	9,6	7,7	44	7,4	6,5	37	4,9
21	9,7	52	10,9	8,4	46	8,7	7,2	39	6,4
22	10,6	54	12,1	9,2	47	10,1	7,9	40	7,8
23	11,4	55	13,4	10,1	48	11,4	8,7	42	9,2
24	12,4	56	14,6	11,0	49	12,7	9,6	43	10,6
25	13,4	57	15,8	11,9	50	13,9	10,4	44	12,0

t	Psychrometrische Differenz. 9°			10°			11°		
	a	r	T	a	r	T	a	r	T
10°	0,4 mm	4%	−26,4°	—	—	—	—	—	—
11	0,8	8	−20,0	—	—	—	—	—	—
12	1,2	11	−15,7	—	—	—	—	—	—
13	1,6	14	−12,4	0,7 mm	6%	−21,6°	—	—	—
14	2,0	17	− 9,7	1,1	9	−16,6	—	—	—
15	2,5	19	− 7,3	1,5	12	−12,8	0,6 mm	4%	−28,0°
16	3,0	22	− 5,1	2,0	15	− 9,9	1,0	8	−17,2
17	3,5	24	− 3,2	2,5	17	− 7,3	1,5	10	−13,1
18	4,1	26	− 1,4	3,0	20	− 5,0	2,0	13	− 9,9
19	4,7	28	0,3	3,6	22	− 3,0	2,5	15	− 7,2
20	5,3	30	2,1	4,2	24	− 1,1	3,1	18	− 4,8
21	6,0	32	3,7	4,8	25	0,7	3,7	20	− 2,7
22	6,7	34	5,3	5,5	28	2,5	4,3	22	− 0,8
23	7,4	35	6,9	6,2	29	4,2	5,0	24	1,2
24	8,2	37	8,4	6,9	31	5,9	5,7	25	3,0
25	9,1	38	9,8	7,7	33	7,4	6,4	27	4,8

Digitized by Google

Eine praktische Anwendung von Feuchtigkeitsmessungen findet statt, wenn bei drohendem Nachtfrost festgestellt wird, wie tief voraussichtlich das Thermometer während der bevorstehenden Nacht sinken wird. Bekanntlich ist es möglich, wertvolle Pflanzungen, wie Weinberge und Obstgärten, einigermaßen gegen die schädigende Wirkung der Frühjahrsfröste zu schützen, indem man durch Bedeckung mit Stroh, Matten und dergl. oder durch Erzeugung von Rauchwolken die Wärmeausstrahlung gegen den Himmel verhindert. Um aber im Einzelfall zu wissen, ob solche Maßregeln erforderlich sind, ist es wünschenswert, das zu erwartende nächtliche Temperaturminimum rechtzeitig am Tage beurteilen zu können. Hierzu dient die Erwägung, daß die Luft bei fortschreitender Abkühlung ihren Taupunkt erreicht, und daß hierauf bei weiterer Wärmeentziehung ein Teil des Dampfes kondensiert wird unter Freiwerden derjenigen Wärmemenge, welche bei der Dampfbildung gebunden wurde. Aus der S. 75 mitgeteilten Tabelle geht hervor, wie bedeutend diese Menge gerade beim Wasser ist, und indem nun der bis zum Taupunkt abgekühlten, d. h. gesättigten Luft die frei werdende Kondensationswärme zugeführt wird, ist damit das weitere Sinken der Temperatur nahezu verhindert. Die Erfahrung bestätigt, daß die Lufttemperatur nicht erheblich unter den Taupunkt zu sinken pflegt. Man braucht also nur den Taupunkt der gerade am Beobachtungsorte befindlichen Luft zu bestimmen, um die voraussichtliche Grenze zu kennen, bis zu welcher diese Luft sich höchstens abkühlen wird. Natürlich ist bei windigem Wetter, welches beständig neue Luftmassen heranführt, eine solche Bestimmung des Taupunktes bedeutungslos, aber in Wirklichkeit sind es gerade die windstillen Nächte mit klarem Himmel und hohem Luftdruck, welche die stärkste Abkühlung zu bringen pflegen, und bei solcher Wetterlage kann es recht nützlich sein, am Nachmittag oder Abend den Taupunkt zu untersuchen und danach die etwa erforderlichen Maßregeln zu treffen.

Eine andere Witterungserscheinung, bei welcher die Feuchtigkeit der Luft eine wichtige Rolle spielt, ist der Föhn. So nennt man in der Nordschweiz einen vom Gebirge her in das Alpenvorland herabstürzenden heißen und trockenen Südwind. Der Name Föhn wird auf das lateinische Favonius zurückgeführt, obwohl dies Wort den Westwind bezeichnet. Im Binnenlande hat in-

Digitized by Google

dessen die Richtung des Windes geringere Bedeutung, als seine Temperatur und Feuchtigkeit, so daß man es wohl verstehen kann, wenn die im rauhen Alpengebiet angesiedelten Römer durch den warmen Föhn an die milden westlichen Frühlingswinde ihrer Heimat erinnert wurden. Für die Föhnluft charakteristisch ist ihre hohe Temperatur verbunden mit geringer relativer Feuchtigkeit, und diese Eigenschaften entstehen, indem die Luft das Gebirge zu überschreiten genötigt wird. Wo der Wind gegen das Gebirge weht und die Luftmassen also hinaufgeführt werden, gelangen sie unter geringeren Druck, dehnen sich aus und kühlen sich dabei dynamisch ab (wie wir dies im zweiten Kapitel bereits gesehen haben). Wenn sie dann auf der anderen Seite wieder herabfließen, tritt das Umgekehrte ein, die Luft wird durch den nach unten wachsenden Druck dynamisch erwärmt und erreicht, falls sie auf ihrem ganzen Wege nicht bis zum Taupunkt abgekühlt wurde, die Ebene in der nämlichen Temperatur, welche sie vor dem Aufsteigen hatte. Ist dagegen der Dampfgehalt so groß, daß die an der Windseite aufsteigende Luft ihren Taupunkt erreicht und einen Teil des mitgeführten Dampfes in Wasser verwandelt, so wird dabei eine entsprechende Menge gebundener Wärme frei, und die im Aufsteigen eintretende Abkühlung ist demgemäß geringer. Während ungesättigt aufsteigende Luft auf je 100 m um etwa 1^0 kälter wird, beträgt nach Erreichung der Sättigung die Abkühlung bei weiterem Aufsteigen nur etwa halb so viel. Trotzdem würde die Luft auch in diesem Fall wieder mit ihrer ursprünglichen Temperatur auf der anderen Gebirgsseite unten anlangen, wenn sie alle entstandenen Wassertröpfchen mit sich führen könnte und bei deren Verdampfung im Absteigen die gleiche Wärmemenge hergeben müßte, die sie durch die Kondensation im Aufsteigen empfangen hat. Aber diese Voraussetzung trifft nicht zu, denn die Wassertropfen fallen zum großen Teil als Regen heraus, benetzen das Gebirge und belassen der Luft die Kondensationswärme. Um diese bereichert, dagegen um das herausgefallene Regenwasser ärmer kommt dann die Luft am Fuße des Gebirges an, und muß demnach wärmer und trockener sein, als vorher. Ein Beispiel liefert Fig. 23, in welcher die Temperatur nach rechts und die Höhe nach oben hin gezählt ist, so daß wir Temperatur und Feuchtigkeit einer Luftmasse beim Überschreiten eines Gebirges genau verfolgen können. Vor

Digitized by Google

dem Aufsteigen sei im Meeresniveau die Temperatur 20° (Punkt *A*); wir nehmen ein absolute Feuchtigkeit von 15 mm an, also nicht gesättigte Luft, sondern solche von 86% relativer Feuchtigkeit, und demnach sinkt die Temperatur im Steigen zunächst wie bei trockener Luft und beträgt in 300 m Höhe 17° (Punkt *B*). Hier ist Sättigung und Taupunkt erreicht, es beginnt die Bildung von Wassertropfen, und im weiteren Aufsteigen ist die Abkühlung so viel langsamer, daß bei 1200 m Höhe die Luft noch 12,5° warm ist (Punkt *C*) und die entsprechende Sättigungsmenge mit 10,7 mm Dampfdruck enthält. Wenn damit die Kammhöhe des Gebirges erreicht ist, so folgt nun das Absteigen mit der vom Dampfgehalt nicht beeinflußten Erwärmung um 1° auf je 100 m, und beim Wiedereintreffen im Meeresniveau hat die Luft eine Temperatur von 24,5° (Punkt *D*), ihre absolute Feuchtigkeit beträgt noch immer 10,7 mm, die relative aber ist unter 50% gesunken. Solche trockenen, heißen Winde sind natürlich nicht an die Gegend gebunden, von welcher zufällig ihr bei uns üblicher Name stammt, sondern „Fallwinde" der gleichen Art finden sich an zahlreichen anderen Gebirgen, in Deutschland beispielsweise in den Vogesen, im Riesengebirge, im Thüringer Wald, wenn auch die geringere Höhe dieser Gebirge ihre Wirkung weniger machtvoll gestaltet, als diejenige der Alpen. Übrigens ist das Vorhandensein des Gebirges nicht einmal unbedingt nötig, um die Einzelheiten des Föhns hervorzurufen, denn wesentlich ist ja dabei nur, daß die Luft auf- und abwärts geführt wird, und diese Voraussetzung ist bereits erfüllt, wenn ein Tief- und ein Hochdruckgebiet derartig in Wechselwirkung treten, daß die Luftmassen, welche im Tief hinaufsteigen und einen Teil ihrer Feuchtigkeit als Niederschlag herabfallen lassen, oben dem Hoch zufließen und dort im Herabsteigen noch weiter erwärmt werden. Mit Rücksicht

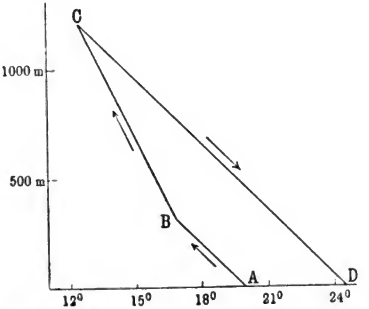


Fig. 23. Temperatur der auf- und absteigenden Föhnluft. (Nach Börnstein, Wetterkunde.)

Digitized by Google

auf die übliche Bezeichnung der Hochdruckgebiete als „Antizyklonen" spricht man daher außer vom „Bergföhn" auch von dem „antizyklonalen Föhn".

Nachdem wir den Eintritt der Kondensation in feuchter Luft mehrfach erwähnt und zum Ausgang von Folgerungen gemacht haben, soll nun der Vorgang selbst etwas näher betrachtet werden. Zunächst will ich in einem Versuch die Entstehung atmosphärischer Wassertröpfchen zeigen. In diesem Glaszylinder befindet sich Zimmerluft mit etwas Wasser; das Gefäß ist durch einen mit einer Öffnung versehenen Deckel verschlossen, und in dessen Öffnung befindet sich ein dicht schließender, von einem Glasrohr durchsetzter Korkstopfen. Das Rohr gabelt sich außen, so daß ich die eine Öffnung mit dem Finger verschließen und durch die andere mittels eines Gummigebläses noch mehr Luft in den Zylinder treiben und darinnen einen erhöhten Druck erzeugen kann. In Ermangelung einer geeigneten Gebläsevorrichtung kann man auch durch Blasen mit dem Munde die nötige Druckvermehrung erzeugen. Ich warte, nachdem dies geschehen, kurze Zeit, damit die innen hervorgerufene dynamische Erwärmung sich ausgleichen kann, und lasse nun, indem ich den Finger von der Rohröffnung nehme, die innere Luft sich ausdehnen. Diese rasche Abnahme des Innendruckes wirkt ebenso, wie etwa das Emporführen der Luft durch den gegen ein Gebirge wehenden Wind, es entsteht dynamische Abkühlung und, da die Zimmerluft reichliche Feuchtigkeit zu enthalten pflegt und im Zylinder auch noch Dampf aufnehmen konnte, wird der Taupunkt im Abkühlen schnell erreicht, so daß wir den Zylinder sich mit Nebel füllen sehen. Besonders deutlich erscheint der Vorgang, wenn ich den Lichtkegel der elektrischen Bogenlampe hineinsende und dadurch alle die einzelnen Tröpfchen wenigstens für nahe am Apparat befindliche Beobachter sichtbar mache. Sobald ich jetzt die Luft des Zylinders wieder zusammendrücke, verschwindet sogleich der Nebel, weil in der dynamisch erwärmten Luft die Tröpfchen wieder verdampfen.

Nun wäre es aber unrichtig, die gesehene Erscheinung allein den Änderungen des Druckes und der Temperatur zuzuschreiben, denn der Versuch gelingt nicht mehr, wenn ich ihn mit diesem zweiten Zylinder nochmals unternehme, und dabei besteht der einzige Unterschied gegen vorher darin, daß diesmal

Digitized by Google

möglichst staubfreie Luft den Zylinder erfüllte. Um dies zu erreichen, habe ich das Gefäß etwa 2 Wochen lang unbewegt stehen gelassen, so daß die darin befindlichen Staubkörnchen in das am Boden befindliche Wasser herabsinken konnten, und die vom Gebläse zugeführte Luft wird durch eine mit befeuchteter Watte gefüllte Röhre getrieben und dadurch filtriert. In solcher staubfreien Luft kann ich durch beliebige Änderungen von Druck und Temperatur keinen Nebel zustande bringen. Entferne ich aber jetzt das Watterohr und treibe die Luft unmittelbar aus dem Gebläse in das Gefäß, so kommt mit der unfiltrierten Zimmerluft Staub genug hinein, um alsbald wieder den vorher gesehenen Verlauf des Versuchs zu ermöglichen. Die Anwesenheit des Staubes ist demnach eine notwendige Vorbedingung für den Beginn der Kondensation. Man bezeichnet die Stäubchen als „Kondensationskerne" und nimmt an, daß auch in gesättigter Luft flüssige Tröpfchen nur bestehen können, insofern sie eine gewisse Größe überschreiten. Wenn die ersten Tröpfchen sich ohne Ansatzkerne bilden müßten, wären sie zunächst so klein, daß sie nicht bestehen könnten, sondern gleich verdampfen würden; wenn sie aber als wässeriger Überzug der Staubkörnchen auftreten, so haben sie von Anfang an größeren Umfang (kleinere Krümmung) und die Fähigkeit zu dauernder Existenz.

Da nun offenbar Wolken in allen Teilen der Atmosphäre sich bilden können, muß wohl auch überall ein ausreichender Vorrat von Staub vorhanden sein, der zur Bildung der Tröpfchen die nötigen Ansatzkerne liefert. Über dem Lande spielen meist mineralische oder Pflanzenteilchen diese Rolle, in der Nachbarschaft der Städte auch die massenhaften Kohlekörnchen, welche unverbrannt als Rauch von den Feuerstätten aufsteigen, während über dem Meere die von Wind und Wogen verspritzten Tröpfchen nach Verdampfen des Wassers als Salzkörnchen die Luft erfüllen. In zweiter Linie kommen als Kondensationskerne auch die sogenannten Jonen in Betracht, nämlich die einzelnen negativ oder positiv elektrischen Teilchen, welche aus der Zerlegung von Molekülen in der Atmosphäre entstehen können und hauptsächlich durch Strahlungsvorgänge zu getrenntem Auftreten gebracht werden.

Ist diese Vorbedingung, nämlich die Anwesenheit genügender Ansatzkerne, erfüllt, so gehört zum Eintritt der Kondensation

Digitized by Google

und zur Entstehung von Wolken und Niederschlag lediglich Wärmeentziehung, und diese kann in der Luft hauptsächlich auf zweierlei Arten zustande kommen: durch Berührung mit dem kälteren Boden und durch dynamische Abkühlung beim Aufsteigen. Die Wirkung des Bodens vermag sich in der Bildung von *Nebel* und andererseits von Tau und Reif zu äußern. Beim Nebel wird einfach die unterste Luftschicht durch Berührung mit dem erkalteten Boden zur Abgabe von Wärme veranlaßt; indem diese unterste Schicht dabei kälter und schwerer geworden ist, bleibt sie an ihrer Stelle und entzieht nun ihrerseits der darüber befindlichen Luftschicht Wärme, solange deren Temperatur noch höher ist. So verbreitet die zuerst im Boden durch Ausstrahlung entstandene Kälte sich allmählich nach aufwärts, und mit ihr, falls genügende Feuchtigkeit vorhanden ist, die Bildung feiner Tröpfchen. Man sagt alsdann „der Nebel steigt", obwohl natürlich nur die Kälte steigt, die Nebeltröpfchen aber schwerer als Luft und daher im langsamen Sinken begriffen sind. Nur wenn die Kälte rascher emporsteigt, als die Tröpfchen sinken, kann die Erscheinung zustande kommen. Liegt die Temperatur unter 0^0, so treten an Stelle der flüssigen Tröpfchen feine nadelförmige Eiskristalle, die durch Zurückwerfen der Sonnenstrahlen dem Nebel das bekannte Glitzern verleihen können. Verschieden hiervon ist die Entstehungsweise von *Tau* und *Reif*, weil diese Gebilde aus Feuchtigkeit kondensiert werden, die nicht aus der Luft stammt, wie beim Nebel, sondern aus dem Boden. Wenn dieser einige Feuchtigkeit enthält und an seiner Oberfläche der abendlichen Abkühlung ausgesetzt ist, so kann es geschehen, daß in der wärmeren Schicht, welche unmittelbar unter der Oberfläche liegt, Wasser verdampft, und beim Berühren mit der kälteren obersten Schicht sich wieder kondensiert. So wird beispielsweise auf einem mit Rasen bedeckten Boden durch Wärmeausstrahlung von der großen Oberfläche der zahlreichen Grashalme eine recht erhebliche Abkühlung der obersten, von den Halmen gebildeten Schicht entstehen können, während darunter in der Region der Wurzeln eine wärmere und zugleich feuchte Luft die Poren des Bodens erfüllt. Indem Teile dieser Luft zu der kalten Oberschicht emporsteigen, beschlagen die Halme und bedecken sich, je nachdem die Temperatur über oder unter 0^0 liegt, mit Wassertropfen oder Eisnadeln, mit Tau oder Reif. Käme die Er-

Digitized by Google

scheinung von oben, so müßte sie mit Nebelbildung beginnen, was bekanntlich nicht der Fall ist. Günstig für Entstehung von Tau oder Reif ist also starke Abkühlung der obersten Bodenschicht und Durchlässigkeit für die darunter befindliche Feuchtigkeit. Bei Steinpflaster pflegt Reif nur an den Fugen, die zwischen den Steinen liegen, aufzutreten, weil die Steine selbst keine Feuchtigkeit hindurchlassen.

Über nassem Boden oder über Wasserflächen kann auch in kälterer Luft Nebel entstehen, wenn nämlich durch Verdampfen von dem wärmeren Boden oder Wasser mehr Dampf sich bildet, als die kältere Luft aufnehmen kann. Der Vorgang verläuft dann gerade so, wie das „Dampfen" heißer Flüssigkeit in Zimmerluft.

Die abkühlende und kondensierende Wirkung des aufsteigenden Luftstromes samt der Bildung von Bewölkung und Niederschlag kann anschaulich gemacht werden durch Betrachtung der verschiedenen Zustände oder Stadien, welche die emporgeführte Luft durchläuft. Zuerst befindet sie sich im Trockenstadium, zeigt dabei eine durch dynamische Abkühlung erzeugte Temperaturabnahme von 1^0 auf je 100 m Höhe und wird der Sättigung immer näher geführt. Wo diese eintritt, beginnt das Regenstadium: die zum Taupunkt abgekühlte Luft kann bei fortgesetztem Aufsteigen und dynamischem Abkühlen nicht mehr die bisher mitgeführte Feuchtigkeit als Dampf behalten, sondern es tritt Kondensation ein. Wo Trocken- und Regenstadium sich berühren und die Luft ihren Taupunkt erreicht, beginnt eine Wolke sich zu bilden, und darüber ist die Luft von den entstandenen Tropfen erfüllt. Aus den anfänglich kleinen Tropfen entstehen durch Zusammenfließen größere, und alle fallen sie natürlich herab, denn Wasser ist schwerer als Luft, aber sie bewegen sich umgeben von dem Luftstrom, welcher sich selbst in aufsteigender Bewegung befindet, und darum werden alle diejenigen Tröpfchen, welche langsamer fallen, als die Luft aufsteigt, in der Wolke zurückgehalten, und nur die größeren Tropfen, welche den Luftwiderstand besser überwinden und rascher fallen, gelangen in den Raum des Trockenstadiums und sinken hier unter steter Verdampfung herab. Sind sie groß genug, um den Erdboden zu erreichen, ehe sie verdampft sind, so haben wir Regen, andernfalls sehen wir nur eine Wolke über uns. Durch entsprechende Versuche hat man diese Erscheinungen nach-

Digitized by Google

geahmt und messend verfolgt. Es wurde mittels eines Gebläses ein aufsteigender Luftstrom erzeugt, und in diesen brachte man Tropfen verschiedener Größe. Durch passende Geschwindigkeiten des Luftstromes konnte man für die verschiedenen Tropfengrößen denjenigen Zustand herbeiführen, bei welchem der Tropfen gerade schwebend verweilte und also die Steigegeschwindigkeit der Luft genau gleich der Fallgeschwindigkeit des Tropfens war. Die zusammengehörigen Werte von Geschwindigkeit und Tropfengröße lassen dann erkennen, wie rasch höchstens die Luft aufsteigt, wenn Tropfen einer bestimmten Größe herabfallen. Durch andere Versuche wurden die vorkommenden Tropfengrößen bei wirklichem Regenfall ermittelt. Dazu ließ man die Tropfen auf Löschpapier fallen, welches in einem sehr flachen Holzkästchen kurze Zeit dem Regen ausgesetzt und dann sogleich mit einem wasserlöslichen Farbstoff (z. B. Eosin) bestäubt wurde. Wenn man gleich danach das überschüssige Pulver durch Abklopfen entfernte, verblieben auf dem Papier kreisförmige haltbare Tropfenbilder, aus deren Größe die Tropfengröße sicher und leicht zu erkennen war. Nur die kleinsten Tropfen konnten auf diese Art nicht mehr untersucht werden, sondern erst von 0,5 mm Durchmesser aufwärts gelang die Erkennung und Messung, und gerade diese Größe kam so regelmäßig und so zahlreich zur Wahrnehmung, daß die entsprechende Geschwindigkeit als obere Grenze für die Bewegung des aufsteigenden Luftstromes gelten kann. Sie beträgt etwa 3 m in der Sekunde und ist gleich der Schnelligkeit, mit welcher ein „leichter" Wind die Luftmassen horizontal bewegt. Wahrscheinlich verläuft aber der aufsteigende Strom sehr viel langsamer. Regentropfen von mehr als 5,5 mm Durchmesser (8 m Fallgeschwindigkeit) können überhaupt nur für wenige Sekunden bestehen und werden durch die Luftreibung zersprengt, so daß bei einer Geschwindigkeit der aufsteigenden Luft von 8 m in der Sekunde überhaupt kein Regentropfen den Boden erreichen könnte.

Die Temperatur nimmt im Regenstadium nach oben hin etwa halb so rasch ab, wie im Trockenstadium, weil die beim Kondensieren der Tropfen frei werdende gebundene Wärme der dynamischen Abkühlung entgegenwirkt. Sobald nun die Temperatur bis auf 0^0 gesunken ist, schließt sich nach oben hin das Hagelstadium an, jedoch nur, falls der aufsteigende Strom kräftig genug ist, um einen Teil der Regentropfen über die 0^0-Grenze hinaus empor-

Digitized by Google

zuheben. Diese Tropfen gelangen nun in Luft, welche bis zum Gefrierpunkt abgekühlt ist, erstarren dort nacheinander und gleichen durch ihre frei werdende gebundene Wärme die dynamische Abkühlung der Luft aus. Die Schicht des Hagelstadiums enthält demnach ein Gemisch von Luft, Wasser und Eis; es reicht bis zu derjenigen Höhe, in welcher alle Wassertropfen gefroren sind, und hat durchweg die Temperatur 0^0. Darauf folgt sodann das Schneestadium, in welchem durch fortschreitende dynamische Abkühlung wieder neue Kondensation stattfindet, und zwar in Form von Schnee, weil die Temperatur dort immer tiefer unter den Gefrierpunkt herabsinkt.

Nicht immer sind im aufsteigenden Strom alle diese Stadien vorhanden; nur wenn er hoch genug hinaufreicht, können sie zustande kommen, und namentlich das Hagelstadium setzt außerdem eine erhebliche Geschwindigkeit der aufsteigenden Luft voraus. Bei warmem Wetter liegt die 0^0-Grenze so hoch, daß meistens das Regenstadium nicht überschritten wird, während in der kalten Jahreszeit, wenn der Taupunkt unter 0^0 liegt, das Regen- und Hagelstadium ausfällt und gleich auf das Trockendas Schneestadium folgt. Oftmals geschieht es auch, daß Schnee oder Hagel im Herabfallen schmilzt. So mancher Platzregen ist ursprünglich Hagel gewesen, dessen Eiskörner beim Durcheilen warmer Luft zu großen Regentropfen geschmolzen sind.

Die Gruppe von Wärmeerscheinungen, welchen der Rest dieses Kapitels gewidmet werden soll, nämlich das Verhalten der Wärmemaschinen, ist von so großer wissenschaftlicher und praktischer Bedeutung und bietet so vielerlei wichtige Einzelheiten, daß eine auch nur bescheidene Ausführlichkeit weit über den hier verfügbaren Raum hinausgehen würde. Wir müssen uns daher mit der Vorführung einiger Grundtatsachen begnügen. Der Zweck aller Wärmemaschinen besteht in der Umwandlung einer Energieform in die andere, nämlich im Überführen von Wärme in Bewegungsenergie. Die Maschine empfängt die Verbrennungswärme des Heizstoffes und liefert dafür mechanische Arbeit; sie wird dieser Aufgabe um so besser entsprechen, je vollständiger sie die Umwandlung zu bewirken vermag, je größer also derjenige Bruchteil der zugeführten Wärme ist, den wir als nutzbare Arbeit von der Maschine zurückerhalten. Dabei wird die zugeführte Wärme zur Erzeugung von Druck

Digitized by Google

verwendet, der auf die beweglichen Teile der Maschine wirkt und ihnen lebendige Kraft erteilt.

Wie dies beim Verdampfen von Wasser geschieht, d. h. wie der in den Dampfmaschinen wirkende Druck zustande kommt, soll nun zunächst gezeigt werden. Wir bedienen uns dazu eines einfachen Vorganges, der gewöhnlich als Leydenfrostscher Versuch bezeichnet wird. Eine flache Metallschale wird durch eine darunter befindliche Gasflamme erhitzt, und auf sie lasse ich einzelne Wassertropfen fallen. Zunächst sehen wir die Tropfen sogleich mit zischendem Geräusch sieden nnd verdampfen; ist aber das Metall heißer geworden, so verzischt der darauf fallende Tropfen nicht, sondern gleitet als eine rundliche Masse auf der heißen Fläche hin und her, ohne sie zu benetzen, und erst allmählich sehen wir ihn kleiner werden. Wenn ich nun die Flamme lösche und das Metall sich abkühlen lasse, tritt bald wieder der frühere Zustand ein und der Tropfen verzischt. Zur Deutung des Versuches bedenken wir, daß bei dem Herabfallen gegen die stark erhitzte Metallfläche die Unterseite des Tropfens bereits Dampf aussendet, ehe noch eine Berührung stattfindet. Das Wasser nimmt im Verdampfen einen so stark vermehrten Raum ein und erzeugt demnach so großen Druck unter dem Tropfen, daß er am Herabfallen verhindert wird. Solange das Metall heiß genug ist, um den seitlich entweichenden Dampf durch immer neue Wasserverdampfung zu ersetzen, schwebt der Tropfen; beginnt aber die Schale kälter zu werden, so vermag der Dampf nicht mehr das Herabfallen des Tropfens zu hindern, und er gerät beim Berühren der immer noch heißen Fläche sogleich ins Sieden.

Ähnliches können wir bei einem anderen Versuch wahrnehmen, der als Umkehrung des vorigen erscheint. Ich habe eine Metallkugel an eiserner Kette aufgehängt und durch eine darunter gestellte Gasflamme zur Rotglut erhitzt. Ein Glas mit heißem Wasser hebe ich so gegen diese Kugel, daß sie in das Wasser eintaucht, und schiebe dann einen Untersatz von passender Größe darunter, welcher das Glas in seiner Lage hält. Dann sehen wir zunächst, daß die Kugel nicht von dem Wasser berührt wird, sondern von einem Dampfmantel umgeben ist, welcher sich, während Blasen von ihm aufsteigen, durch rasche Verdampfung des umgebenden Wassers stets erneuert. Nach einiger Zeit ist infolge der zur Verdampfung

Digitized by Google

erforderlichen Wärmeabgabe die Kugel soweit abgekühlt, daß sie den Dampfmantel nicht mehr zu erhalten vermag, das Wasser kommt erst jetzt in Berührung mit der Kugel und wird dadurch zu kurzem Aufkochen gebracht.

Zeigten uns diese Versuche, wie durch Verdampfen von Wasser erhebliche Drucke entstehen können, so liefert die folgende Tabelle den zahlenmäßigen Zusammenhang zwischen Druck, Temperatur, Gesamtwärme und Dichte gesättigten Wasserdampfes. Der Druck ist dabei in Atmosphären (je 760 mm Quecksilberhöhe oder je 1,033 kg auf 1 qcm) angegeben, die Temperatur in Celsiusgraden, und diese Zahlenreihen bilden die Ergänzung zu den auf S. 62 und 79 mitgeteilten Tabellen für Wasserdampf. Unter Gesamtwärme eines Kilogramms ist ferner diejenige Wärme zu verstehen, welche 1 kg Wasser von 0° in gesättigten Dampf der dabeistehenden Temperatur verwandelt, und die sich also aus denjenigen Mengen zusammensetzt, welche zur Temperaturerhöhung, zur Umwandlung des Aggregatzustandes und zur Volumenvermehrung erforderlich sind; Gesamtwärme eines Kubikmeters bedeutet dementsprechend die Wärmemenge, durch welche 1 cbm gesättigter Dampf der dabeistehenden Temperatur aus Wasser von 0° erzeugt wird.

Verhalten gesättigten Wasserdampfes.

Druck	Temperatur	Gesamtwärme eines kg	Dichte (Gewicht) eines cbm	Gesamtwärme eines cbm	Differenz
1 Atm.	100,0°	637,0 Kal.	0,6059 kg	386,0 Kal.	
					362,2 Kal.
2	120,6	643,3	1,1631	748,2	
					353,8
3	133,9	647,3	1,7024	1102,0	
					348,6
4	144,0	650,4	2,2303	1450,6	
					344,9
5	152,2	652,9	2,7500	1795,5	
					342,1
6	159,2	655,1	3,2632	2137,6	
					339,8
7	165,3	656,9	3,7711	2477,4	
					337,8
8	170,8	658,6	4,2745	2815,2	
					336,2
9	175,8	660,1	4,7741	3151,4	
					334,9
10	180,3	661,5	5,2704	3486,3	
					333,6
11	184,5	662,8	5,7636	3819,9	
					332,8
12	188,4	664,0	6,2543	4152,7	
					331,6
13	192,1	665,1	6,7424	4484,3	
					330,7
14	195,5	666,1	7,2283	4815,0	

Während man bei den ersten Dampfmaschinen die Erzeugung des Dampfes im gleichen Raum vornahm, in welchem

Digitized by Google

er auch wirken sollte, nämlich dem Zylinder, dient jetzt dazu ein besonderer Maschinenteil, der Dampfkessel. Die Wärme geht ihm von der Feuerung zu und wird zur Dampfbildung verwendet, und der so entstehende Druck wird durch Röhren dem Zylinder zugeführt, in welchem er auf den Kolben wirkt. Fig. 24 gibt eine Übersicht der beweglichen Maschinenteile.

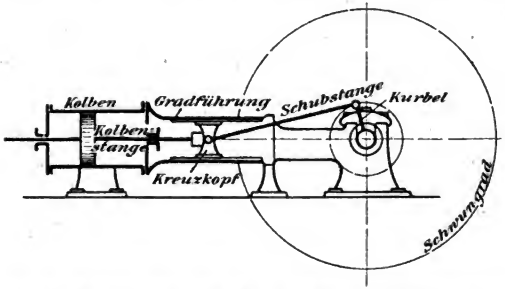


Fig. 24. Dampfmaschine. (Nach Vater, Dampf und Dampfmaschine.)

Im Zylinder ist der Kolben dampfdicht verschiebbar und wird hin und her bewegt; die Kolbenstange durchsetzt dampfdicht die (rechte) Zylinderwand und überträgt die Kolbenbewegung auf den mittels geeigneter Führung geradlinig beweglichen Kreuzkopf, welcher seinerseits durch Schubstange und Kurbel die geradlinig hin- und hergehende Bewegung des Kolbens in die Drehung der Welle und des auf ihr sitzenden Schwungrades umwandelt. Die eigentliche Triebkraft der Maschine besteht in dem Unterschied der beiden Drucke, welche im Zylinder auf der linken und rechten Seite des Kolbens herrschen. Dieser Druckunterschied treibt den Kolben jeweils nach der Seite des schwächeren Druckes und wird als Kolbenüberdruck bezeichnet. Bei den einfach wirkenden Maschinen wird der Kolben durch Dampf nur nach einer Richtung getrieben und macht den Rückweg vermöge der Wucht, welche er bei seinem Hingang dem Schwungrad erteilte. Wenn dagegen der Dampf sowohl den Hin- wie den Hergang des Kolbens bewirkt, nennt man die Maschine eine doppelt wirkende. Auch in diesem Falle ist das Schwungrad notwendig, um die Maschine über die toten Punkte zu

Digitized by Google

bewegen. So heißen die beiden Stellungen, in welchen der Kolben an einem Ende seiner Bahn angelangt und im Umkehren begriffen ist. Hierbei bilden Kolbenstange, Schubstange und Kurbel eine gerade Linie, der Kolben kann durch die Dampfkraft jetzt keine Bewegung erhalten, und erst wenn ihm die Wucht des Schwungrades über diese Stellung hinweggeholfen hat, tritt die Triebkraft des Dampfes wieder in Tätigkeit. Hat die Maschine mehrere Zylinder, welche auf dieselbe Welle wirken, so kann man dafür sorgen, daß sie nicht gleichzeitig, sondern abwechselnd auf den toten Punkt kommen, und in diesem Fall dient das Schwungrad lediglich zum Ausgleich der Geschwindigkeit. Die jeweils erforderlichen Änderungen der Verbindung zwischen Kessel, Zylinder und Außenluft werden durch eine Vorrichtung besorgt, welche Steuerung heißt und von der Maschine ihre Bewegung empfängt.

Die Wirkung des Dampfes kann nun in der Weise erfolgen, daß eine Seite des Zylinders, z. B. die linke, mit dem Dampfkessel, die rechte mit der Außenluft verbunden wird; dann wird der Kolben nach rechts mit einer Kraft bewegt, die dem Unterschied zwischen Kesseldruck und Atmosphärendruck entspricht. Ist er am rechten Ende seines Weges angelangt, so werden durch die Steuerung die Verbindungen derartig vertauscht, daß nun rechts der Kesseldruck, links der Atmosphärendruck wirkt, der Kolben bewegt sich nach links und treibt den dort noch vorhandenen Dampf heraus, um dann die Bewegung von neuem zu beginnen. Solche Maschinen, aus deren Zylinder der Dampf ins Freie gelangt, werden Auspuffmaschinen genannt. Wollte man hierbei den vollen Kesseldruck auf den Kolben während seines ganzen Weges wirken lassen, so ergäbe das einen doppelten Nachteil. Erstens wird beim Umkehren des Kolbens der von ihm herauszutreibende Dampf nicht sofort auf Atmosphärendruck sinken, sondern bedarf zum Ausströmen einer gewissen Zeit und leistet währenddessen dem Kolben einen Widerstand, der zum Arbeitsverlust führt. Und zweitens wird diese ganze Dampfmenge durch Auspuffen verloren, zusammen mit derjenigen Wärmemenge, welche sie in gebundener Form enthält. Darum benutzt man statt solcher Volldruckmaschine die Expansionsmaschine, bei welcher die Verbindung zwischen Kessel und Zylinder geschlossen und der Dampfzutritt zum Kolben unterbrochen wird, ehe dieser das Ende seines Weges

Digitized by Google

erreicht hat. Dann ist für den Rest des Kolbenweges nur noch derjenige Dampfdruck wirksam, welchen der im Zylinder abgeschlossene Dampf ausübt, und da diese Dampfmenge einen Raum auszufüllen hat, welcher mit fortschreitendem Kolben immer größer wird, befindet sich der abgeschlossene Dampf im Zustande der Expansion, d. h. mit wachsendem Volumen nimmt sein Druck ab, und man kann es leicht dahin bringen, daß, wenn der Kolben am Ende seines Weges angelangt ist, der expandierte Dampf gerade denjenigen Druck hat, welcher im anderen Zylinderteil herrscht, und daß also dann der Kolbenüberdruck gleich Null geworden ist. Der umkehrende Kolben wird dann nicht durch Dampfdruck gehindert, und der Auspuffdampf bedeutet einen tunlichst geringen Verlust.

Wenn alle diese Vorgänge sich an einem einzigen Zylinder und Kolben abspielen, treten mancherlei Übelstände auf. Die Expansion bewirkt starke Schwankungen des Druckes, welche nicht nur den gleichförmigen Gang der Maschine beeinträchtigen können, sondern auch für die Maschinenteile (Zylinderwand, Gestänge, Fundament) diejenige Stärke bedingen, die den größten vorkommenden Drucken entspricht. Mit dem Druck des Dampfes schwankt auch seine Temperatur, und diese Schwankungen geschehen rascher, als daß die Zylinderwände sie vollständig mitmachen könnten. Tritt heißer Dampf in den Zylinder, so findet er in dessen Wandung noch die tiefere Temperatur der eben vorausgegangenen Expansion, und wenn die folgende Expansion den Dampf abkühlt, ist die Wandung noch heiß von dem vorausgegangenen hohen Druck; daraus ergibt sich Wärmeverlust und Verringerung der Arbeitsleistung. Um diese Nachteile zu vermeiden, bedient man sich der mehrstufigen Expansion: der Dampf tritt aus dem Kessel in einen ersten Zylinder, arbeitet dort mit hohem Druck und beginnt sich zu expandieren; dabei hat der Kolben seinen Weg einmal durchlaufen, und der nur teilweise expandierte Dampf wird nicht ausgepufft, sondern in einen zweiten Zylinder übergeführt, dessen Kolben er durch Vollendung der Expansion bewegt. Der erste Zylinder heißt Hochdruck-, der zweite Niederdruckzylinder, und dazwischen befindet sich bei dreistufiger Expansion noch ein Mitteldruckzylinder. Maschinen dieser Art werden als Verbundmaschinen bezeichnet.

Digitized by Google

Wie bereits erwähnt, ist die eigentliche Triebkraft der Maschine im Kolbenüberdruck zu suchen, nämlich im Unterschied der Drucke, welche zu beiden Seiten des Kolbens herrschen. Bei den bisher beschriebenen Auspuffmaschinen befindet sich stets die eine Seite des Zylinders in Verbindung mit der Außenluft, und der Kolbenüberdruck ist also um eine Atmosphäre kleiner, als der Kesseldruck. Um bei gleichem Kesseldruck den Überdruck zu vermehren, bedarf es der Herabminderung des Druckes unter eine Atmosphäre in dem nicht mit dem Kessel verbundenen Zylinderteil. Dies geschieht mittels des Kondensators, eines eisernen Behälters, der entweder durch Einspritzen kalten Wassers oder durch äußeres Abkühlen der Wände (Einspritz-, Oberflächen-Kondensator) auf niederer Temperatur gehalten wird und mit derjenigen Seite des Zylinders verbunden ist, in welcher der kleinere Druck wirken soll. Der Dampf, welcher den Kolben nach einer Seite getrieben hat, wird also nicht ausgepufft, sondern tritt in den Kondensator und wird hier durch Abkühlung großenteils in Wasser verwandelt. Der in Dampfform verbleibende Teil übt dann nur noch denjenigen Druck aus, welcher der niedrigen Temperatur des Kondensators entspricht, nämlich bei einer Temperatur von 45 bis 50° etwa ein Zehntel bis ein Achtel Atmosphäre. Behufs Erhaltung dieses niederen Druckes wird durch die von der Maschine betriebene Luftpumpe der Kondensator fortwährend von den angesammelten Wasser- und Luftmassen befreit. Das Wasser entstammt teils der Kondensation, teils ist es als Kühlwasser (beim Einspritz-Kondensator) hineingekommen, während die Luft im Wasser gelöst war und wohl auch durch die Fugen des Kondensators, der Dichtungen u. dgl. vermöge des geringen Innendruckes eintritt.

Im Zylinder der Kondensatormaschine herrscht also auf der einen Seite des Kolbens der hohe Druck des Kessels, auf der anderen Seite der niedere Druck des Kondensators. Der Unterschied beider bedeutet einen entsprechend hohen Kolbenüberdruck, der den Hauptvorzug der Kondensator- vor der Auspuffmaschine bildet. Als ein anderer Vorzug kann es angesehen werden, daß durch Kondensation die mit dem Auspuffen verbundenen Verluste wenigstens teilweise vermieden werden. Die gebundene Wärme des vom Zylinder kommenden Dampfes kann zum Teil für das Vorwärmen von Kesselspeisewasser

Digitized by Google

dienen, und der Dampf selbst bleibt als Wasser für den Maschinenbetrieb erhalten. Dies letztere kommt in Betracht, wenn, wie z. B. bei den Maschinen der Seeschiffe, reines Wasser nicht in beliebiger Menge verfügbar ist.

Wir richten jetzt nochmals unsere Aufmerksamkeit auf die S. 97 mitgeteilte Tabelle und entnehmen daraus eine für den Betrieb von Dampfmaschinen wesentliche Tatsache. Die in der dritten und fünften Reihe mitgeteilte Gesamtwärme gibt an, wieviel Wärme zur Erreichung der in der ersten Reihe genannten Drucke erforderlich ist. Die Gesamtwärme läßt also erkennen, welcher Betrag an Brennmaterial oder an Geld aufzuwenden ist, um die einzelnen Drucke hervorzurufen, und die Vergleichung der Zahlen zeigt, wie die Gesamtwärme mit zunehmendem Druck immer langsamer anwächst. Insbesondere ist die Gesamtwärme eines Kubikmeters Dampf ein Maß für denjenigen Aufwand an Kohlen, welcher nötig ist, um den Raum des Dampfkessels mit gesättigtem Dampf zu erfüllen, und wie langsam dieser Betrag wächst, ergibt die zuletzt angeführte Reihe der Differenzen. Um im Raume eines Kubikmeters von 1 auf 2 Atmosphären zu gelangen, bedarf man der Zuführung von 362,2 Kal.; wenn aber der Druck von 13 auf 14 Atmosphären steigen soll, genügt die Zuführung von 330,7 Kal. Sind hiernach die höheren Drucke billiger zu beschaffen als die niederen, so wird es verständlich, daß man in neuerer Zeit die höheren Dampfspannungen soweit, als es praktisch tunlich erscheint, bevorzugt und zur Erzeugung einer bestimmten Kraft lieber einen kleineren Kolben durch größeren Überdruck bewegen läßt, als umgekehrt.

Ein Mittel zur Erzielung hohen Druckes besteht ferner in der Anwendung überhitzten, d. h. ungesättigten Dampfes. Hierzu baut man in die Maschine, welche dadurch zur *Heißdampfmaschine* wird, einen *Überhitzer* ein, nämlich einen eisernen Behälter, in welchem der vom Kessel kommende und zunächst noch gesättigte Dampf weiterer Temperaturerhöhung ausgesetzt wird. Der Vorteil solcher Einrichtung besteht in der Möglichkeit, Kessel und Kondensator kleiner zu wählen, als ohne Überhitzer bei gleichem Dampfdruck, und außerdem im Vermeiden von Kondensationsverlusten, die durch äußere Abkühlung in der Maschine und in ihren Leitungsrohren um so eher eintreten, je näher der innen befindliche Dampf dem Sättigungs-

Digitized by Google

zustande ist. Andererseits ist die höhere Temperatur von Nachteil, weil auf entsprechend größere Ausdehnung der erwärmten Maschinenteile Rücksicht genommen werden muß, und weil die Dichtung sowie die Anwendung von Schmieröl besondere Sorgfalt bedingen, um der größeren Hitze Widerstand zu leisten. Auch kann an den beweglichen Teilen bei trockenem Dampf eher Reibung und Heißlaufen entstehen, während gesättigter Dampf an solchen Stellen immer eine gewisse Feuchtigkeit und Schmierfähigkeit zeigt.

Trotz aller Verbesserungen ermöglicht die Dampfmaschine indessen nur eine recht ungünstige Ausnutzung des Brennstoffs; wie die unten mitgeteilte Tabelle (S. 105) zeigt, werden bei kleinen Dampfmaschinen nicht einmal 2 Prozent, bei großen und besonders günstigen Anlagen auch nur kaum mehr als 14 Prozent der zugeführten Heizungswärme in Arbeit umgesetzt. Diese geringe Ausnutzung beruht einerseits auf dem großen Verlust an gebundener Wärme beim Austritt des Dampfes aus dem Zylinder; entweder geht er als Auspuffdampf in die Luft, wobei seine Gesamtwärme völlig verloren wird, oder er tritt in den Kondensator und kann von seinem Wärmevorrat wenigstens einen geringen Teil zum Vorwärmen des Kesselspeisewassers hergeben. Andererseits geht in Feuerung und Kessel viel Wärme verloren durch unvollständige Verbrennung der Kohlen, Entweichen heißer Verbrennungsgase in den Schornstein, Wärmeleitung und -Strahlung, Kondensation in den Leitungsrohren usw.

Um diese Verluste zu vermeiden, hat man Wärmemaschinen gebaut, bei welchen der wirksame Druck nicht in einem gesonderten Kessel erzeugt wird, sondern, ähnlich wie bei den ältesten Dampfmaschinen, im Zylinder. Einen solchen Versuch stellte die Heißluftmaschine dar: von dem durch den Kolben abgeschlossenen Innenraum des Zylinders wird ein Teil durch Feuerung erhitzt, der andere durch Wasserspülung kalt gehalten; vermittels eines als Verdränger bezeichneten Hohlkörpers, der vom Kolben seine Bewegung erhält, gelangt die innen befindliche Luft abwechselnd in den heißen und kalten Teil des Zylinders und bewirkt dadurch das Vor- und Zurückgehen des Kolbens. Große Drucke können aber auf diese Art nicht erzielt werden, denn um eine beim Druck einer Atmosphäre eingeschlossene Luftmasse auf zwei Atmosphären zu bringen, muß sie

Digitized by Google

um 273° erhitzt werden, und für jede weitere Atmosphäre nochmals um ebensoviel. Ein Vergleich mit den in unserer Tabelle (S. 97) für Drucke des gesättigten Wasserdampfes angegebenen Temperaturen läßt verstehen, daß die von der Heißluftmaschine verlangten sehr viel höheren Temperaturen der Verbreitung dieser Maschine hinderlich waren.

Günstigere Ergebnisse liefern diejenigen Maschinen, bei welchen der Brennstoff als Gas oder vergaste Flüssigkeit in den Zylinder eingeführt, dort mit der zur Verbrennung nötigen Luftmenge gemischt und zur Entzündung gebracht wird. Der hierbei entstehende Druck genügt, um die Maschine zu bewegen sowie auch die Vorrichtungen zu betätigen, welche für Entfernung der Verbrennungsprodukte aus dem Zylinder, Einsaugen neuen Brennstoffs samt der zugehörigen Luftmenge und für das Zünden des Gemisches sorgen. Hierher gehören die Leuchtgasmaschinen, die Sauggasmaschinen (ein Gemisch von Luft und Wasserdampf wird durch eine Schicht glühender Kohlen gesogen und dabei unter Bildung von Wasserstoff und Kohlenoxyd in ein brennbares Gas verwandelt), die Benzin-, Petroleum-, Spiritusmaschinen.

In der folgenden Tabelle*) ist die Ausnutzung der Brennstoffe in verschiedenen Maschinen angegeben. Unter Pferdestärke (PS) versteht man die Leistung von 75 Kilogrammetern in der Sekunde und zählt insbesondere die von einer Maschine abgegebene nutzbare Arbeitsleistung nach Nutzpferdestärken (PS_n). Ein Stunden-Nutzpferdestärke ($Std\text{-}PS_n$) ist demnach die nutzbare Arbeit einer Maschine von $75 \times 3600 = 270000$ Kilogrammetern in der Stunde. Unter Wirkungsgrad ist verstanden das Verhältnis der Wärmemenge, welche mit einer Stunden-Nutzpferdestärke gleichwertig ist, zu derjenigen Wärmemenge, welche von der betreffenden Maschine zur Hervorbringung einer Stunden-Nutzpferdestärke verbraucht wird.

---

*) Nach Vater, Die neueren Wärmekraftmaschinen. Diese Sammlung Nr. 21, 2. Aufl. 1906, S. 48.

Digitized by Google

Brennstoffverbrauch und Wirkungsgrad verschiedener Maschinen.

Art der Maschinen	Brennstoffverbrauch für 1 Std-PS_n	Heizwert von 1 $\left\{\begin{smallmatrix}kg\\cbm\end{smallmatrix}\right.$ Brennstoff	Wärmeverbrauch für 1 Std-PS_n	Wirkungsgrad
Dampfmaschinenanlagen	Steinkohle	Kal.	Kal.	
kleine, weniger gute Ausführung	5 kg	7500 (1 kg)	37500	0,017
große, beste Ausführung	0,6 „	„	4500	0,142
Leuchtgasmaschinen	Leuchtgas			
kleine	0,7 cbm	5000 (1 cbm)	3500	0,180
große	0,45 „	„	2250	0,283
höchster erreichter Wert	0,385 „	4700	1800	0,353
Sauggasmaschinen	Anthrazit			
kleine	0,55 kg	8000 (1 kg)	4400	0,145
große, vorzügliche Ausführung	0,32 „	„	2560	0,250
Benzinmaschinen	Benzin			
kleine	0,45 kg	10300 (1 kg)	4725	0,138
große	0,25 „	„	2570	0,248
Petroleummaschinen	Petroleum			
gewöhnliche	0,5 kg		5150	0,124
Dieselmaschine, 17 PS_n	0,186 „		1910	0,33
Spiritus, 90 Vol.-Proz.	Spiritus			
im Mittel	0,5 kg	5500 (1 kg)	2750	0,232
Versuch an einer 14 PS-Maschine	0,352 „	„	1930	0,33

Es bedarf wohl kaum des Hinweises, daß die Höhe des Wirkungsgrades, d. h. der Brennstoff-Ausnutzung, für sich allein rein technische Bedeutung hat und erst zur Grundlage wirtschaftlicher Erwägungen in Verbindung mit dem Preise des Brennstoffs sowie mit äußeren Umständen (Art und Dauer der Maschinenbenutzung, Verkehrsverhältnisse u. a.) gemacht werden kann.

Den vorstehend geschilderten Kolbenmaschinen in mancher Hinsicht überlegen ist die Turbine, welche neuerdings als

Digitized by Google

Dampfturbine (Fig. 25) in Aufnahme gekommen ist. Sie vermeidet die Übelstände, welche mit der geradlinig hin- und hergehenden Bewegung des Kolbens und seines Gestänges verbunden sind, ebenso den thermischen Einfluß der Wandungen

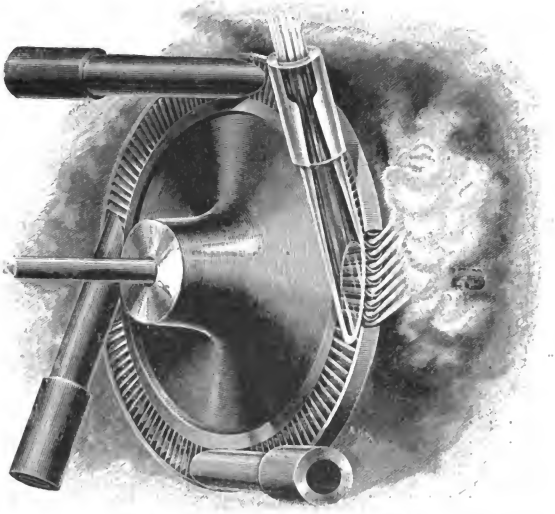


Fig. 25. Hauptteile einer Dampfturbine.
(Nach Bater, Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Wärmekraftmaschinen.)

auf den Dampf, hat wenig Gewicht und bedarf sehr geringen Raumes. Namentlich für den Antrieb von Dynamomaschinen und für die Bewegung von Schiffen scheint die Turbine gute Aussichten zu bieten.

VI. Kapitel.

Bewegung der Wärme.

Wo Körper verschiedener Temperatur aufeinander wirken, findet ein Ausgleich statt, indem der wärmere Körper an den kälteren Wärme abgibt, und zwar um so mehr, je größer der

Digitized by Google

Temperaturunterschied beider Körper ist. Dieser Übergang der Wärme von einem Körper auf einen anderen kann in zweierlei Art geschehen: durch Leitung und durch Strahlung.

Die Leitung findet nur zwischen solchen Körpern statt, die miteinander in Berührung stehen. Sie ist eine so langsame Wärmebewegung, daß wir ihren Verlauf von einer Schicht zur anderen leicht verfolgen können, und ihr Weg ist an

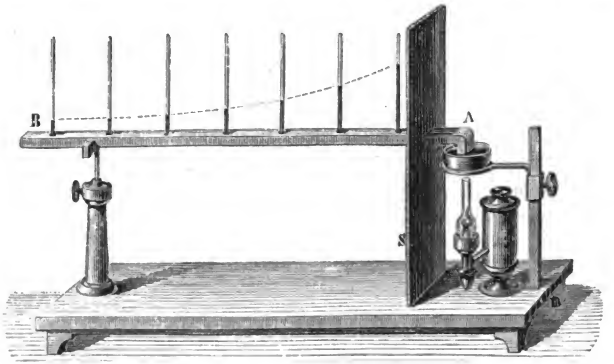


Fig. 26. Wärmeleitung. (Nach Wüllner Bd. II.)

die Form derjenigen Massen gebunden, welche die Leitung vermitteln.

Die Strahlung dagegen ist auf keinen Abstand beschränkt. Sie überträgt die Energie durch den Raum mit der als Lichtgeschwindigkeit bekannten Schnelle und auf geradliniger Bahn, die nur an den Grenzen der durcheilten Substanzen durch Zurückwerfung, Brechung oder Beugung beeinflußt werden kann.

Wir beschäftigen uns zunächst mit der Leitung und stellen folgenden Versuch an. Ein Eisenstab AB (Fig. 26) wird an einem Ende A erhitzt, während ein Schirm S die Strahlung der Heizlampe von dem übrigen Teil des Stabes abhält. Dieser trägt eine Anzahl Thermometer, die in entsprechenden Bohrungen angebracht sind und die Temperaturverteilung derartig erkennbar machen, daß eine durch die oberen Enden der Quecksilbersäulen gezogene (punktierte) Linie die

Digitized by Google

Temperatur an jeder einzelnen Stelle durch ihren Abstand von dem Stabe angibt. Während diese Linie von *A* ab sich zuerst rasch dem Stabe nähert, geht sie im weiteren Verlauf immer mehr zu dessen Richtung über und verläuft schließlich bei *B* dem Stabe parallel. Damit ist ausgedrückt, daß an dem Stabende *B* die Temperatur gleichmäßig verteilt ist und durch die Erhitzung von *A* nicht mehr beeinflußt wird, d. h. daß *B* die Temperatur des Zimmers behalten hat. Hätten wir statt des Eisenstabes einen Kupferstab von gleicher Form und Größe auf die nämliche Art erhitzt, so würde dessen Temperatur bei *A* dieselbe sein, wie im vorigen Fall; ebenso auch bei *B*, wenn der Stab lang genug ist. Aber die punktierte Temperaturlinie würde zwischen *A* und *B* einen anderen Verlauf haben, nämlich von *A* ab über der vorigen Linie liegen und erst nahe bei *B* mit ihr zusammentreffen. Und wenn wir drittens einen Neusilberstab demselben Versuch unterwerfen, so liegt dessen Temperaturlinie von *A* ab unter derjenigen des Eisenstabes und gelangt bereits vor dieser zu einem dem Stabe parallelen Verlauf. Diese verschiedenen Temperaturlinien sind in der Weise zu deuten, daß die Wärmemenge, welche von *A* gegen *B* hin fortgeführt wird, im Kupferstab größer und im Neusilberstab kleiner als im Eisenstab ist. Die Temperaturlinie bezeichnet den in jedem der Stäbe zuletzt eintretenden stationären Zustand, d. h. denjenigen, bei welchem jeder einzelne Querschnitt des Stabes in der Sekunde von *A* aus ebensoviel Wärme empfängt, als er gegen *B* hin und nach außen abgibt. Und mit Rücksicht auf das erwähnte Verhalten der drei Stäbe sagen wir, daß Kupfer ein besserer Wärmeleiter sei, als Eisen, und daß Eisen wiederum besser die Wärme leite, als Neusilber.

Die verschiedene Leitfähigkeit der Körper für Wärme können wir leicht beim bloßen Betasten bemerken. Denn da unsere Hand wärmer ist, entzieht ihr der berührte Gegenstand Wärme, und zwar um so mehr, je besser er leitet. Darum erscheint uns der bessere Wärmeleiter kälter und der schlechtere wärmer: Metall, namentlich Kupfer und Silber, fühlt sich kühl an, Holz dagegen warm.

Ein für eine größere Zahl von Beobachtern gleichzeitig sichtbarer Vorgang, der die verschiedene Wärmeleitfähigkeit einiger Körper erkennen läßt, wird durch folgenden Versuch

Digitized by Google

veranschaulicht. Ich habe hier ein Kästchen aus Blech, durch dessen Seitenwand eine Anzahl gleichgestalteter Stäbchen verschiedenen Materials wasserdicht hindurchgesteckt sind (Fig. 27). Die Stäbchen sind mit einer leicht schmelzbaren Fettmischung (Wachs und Schweinefett) bestrichen, und mittels dieses Überzugs ist an jedes Stäbchen eine Reihe kleiner Schrotkugeln geklebt. Mit Hilfe der Projektionslampe entwerfe ich auf dem Vorhang ein vergrößertes Bild des Apparates und gieße nun in das Kästchen heißes Wasser. Dadurch werden die inneren Enden der Stäbe sämtlich auf die gleiche höhere Temperatur gebracht, sie beginnen die zugeführte Wärme nach außen hin abzuleiten, und wir sehen das Fett schmelzen und die Schrote abfallen, sobald an der einzelnen Stelle die Schmelztemperatur des Fettes erreicht ist. Auf diese Art erkennen wir, daß die vorhandenen Stäbchen nach ihrer Leitfähigkeit für Wärme in folgender Reihe aufeinanderfolgen: Kupfer, Aluminium, Eisen, Wismut, Glas, Holz.

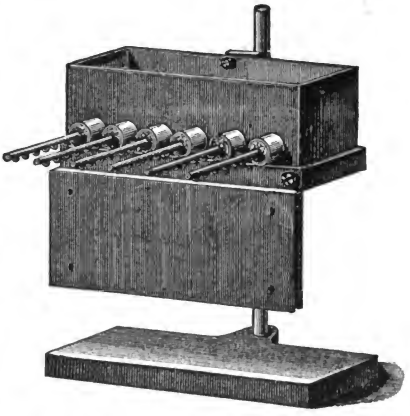


Fig. 27. Wärmeleitung. (Nach Kohls Katalog.)

Ein anderer Versuch, der die Wirkung der Wärmeleitung zeigt, ist folgender: An einem Bunsenschen Gasbrenner sperre ich die Luft ab und erzeuge dadurch eine weithin sichtbare leuchtende Flamme. Wenn ich jetzt ein Drahtnetz, wie man es im Laboratorium beim Erhitzen von Glasgefäßen benutzt, horizontal in die Flamme hineinhalte, verschwindet der über dem Drahtnetz gelegene Teil der Flamme. Die brennbaren Gase steigen zwar durch die Öffnungen des Netzes empor, es wird aber beim Berühren der messingenen Drähte soviel Wärme durch diese fortgeleitet, daß die noch unverbrannten Gasmassen

Digitized by Google

stark abgekühlt heraufkommen. Mit einem Streichholz kann ich diesen Gasstrom über dem Drahtnetz entzünden; blase ich ihn wieder aus, so ist die Wärmefortleitung in den Drähten stark genug, um eine Zündung durch das Netz hindurch zu verhindern.

Die gleiche Wirkung finden wir in den Sicherheitslampen der Bergleute angewandt. In den Kohlenbergwerken bilden sich bekanntlich zuweilen brennbare Gase, deren Entzündung zu den gefürchteten Schlagwetter-Explosionen führen kann. Um solches Unheil zu vermeiden, benutzt man in den Werken dieser Art keine offenen Grubenlampen, sondern solche, deren Flamme nach außen hin durch ein Drahtnetz abgeschlossen ist und nur durch dieses die zur Verbrennung nötige Luft erhalten kann. Wenn nun Schlagwetter-Luft in den Innenraum einer solchen Lampe eindringt, kann sie sich zwar an der Flamme entzünden und diese durch die entstehende Explosion zum Erlöschen bringen, ein Übertreten der Entzündung nach außen wird aber durch die Wärmeleitfähigkeit des Drahtnetzes verhindert. Ich habe hier eine solche Sicherheitslampe angezündet und richte auf sie einen Strom brennbaren Gases aus der Leuchtgasleitung. Wir sehen im Innern das explosible Gemisch von Gas und Luft sich entzünden, die Lampe erlischt dabei, aber eine Zündung nach außen findet nicht statt.

Eine besondere Art der Wärmeleitung tritt bei den Kristallen auf. Für diese Körper ist charakteristisch, daß ihre physikalischen Eigenschaften verschieden sind je nach der Richtung, in welcher wir sie untersuchen. So hat die Elastizität der Kristalle verschiedene Größe in verschiedenen Richtungen, ebenso die Lichtgeschwindigkeit, und auch die Wärmeleitung. Um dies zu zeigen, überziehe ich die ebene Oberfläche eines geeigneten Kristallstückes mit einer dünnen Wachsschicht, bestäube diese nach dem Erkalten mit irgend einem leichten Pulver und setze auf eine Stelle die Spitze eines erhitzten Metallstäbchens, z. B. eines Nagels. Dann verbreitet sich die zugeführte Wärme in der Oberfläche nach allen Seiten, und wenn ich nach einigen Sekunden das heiße Stäbchen fortnehme und das Pulver wegblase, bleibt es in der Ausdehnung haften, wie die Wachsdecke vorher geschmolzen war, und bezeichnet also dasjenige Flächenstück, dessen Temperatur den Schmelzpunkt des Wachses erreicht hatte. Auf einem Metallstück müßte diese Fläche kreis-

Digitized by Google

rund sein, weil dort in allen Richtungen gleiche Wärmebewegung stattfindet. Bei dem Kristall aber zeichnet sich eine Ellipse ab, deren große Achse die Richtung der besten, deren kleine Achse die Richtung der schlechtesten Wärmeleitung erkennbar macht.

Um die Leitfähigkeit der Flüssigkeiten und Gase zu untersuchen, können wir nicht ganz so einfach verfahren, wie bei den festen Körpern, denn während in diesen eine Verbreitung der Wärme nur auf dem Wege der Leitung möglich ist, kann das Gleiche in flüssigen und gasförmigen Körpern auch durch Strömungen zustande kommen, weil beim Erwärmen die Substanz sich ausdehnt und spezifisch leichter wird. Wenn man beispielsweise in einem kalten Zimmer den Ofen heizt, so erwärmt er zunächst die ihm benachbarte Luft und macht sie dadurch leichter, als die kälteren Luftmassen, welche sich in der Nähe der Wände und Fenster befinden. Daraus ergibt sich eine Bewegung, welche die warme Luft herauf, die kalte herabführt, und außerdem unten zum Ofen hin, oben von ihm weg gerichtet ist. Wo dergleichen Strömungen in Flüssigkeiten und Gasen als Folge von Temperaturunterschieden auftreten, verbreiten sie die Wärme sehr viel rascher, als es die bloße Leitfähigkeit in unbewegter Substanz vermag. Wir können aber die Strömungen auf einfache Art ausschließen, indem wir die Erwärmung von oben her bewirken und damit erzielen, daß die leichteste und wärmste Masse sich stets oben befindet und also nicht mehr steigen kann. Ein solcher Versuch ist der folgende, welcher zugleich die geringe Wärmeleitfähigkeit des Wassers zeigt. Ein Probierglaschen befestige ich aufrecht in einem geeigneten Halter, fülle es bis oben mit Wasser und bringe in dies ein Stückchen Eis, welches durch ein daraufgelegtes Bleistück am Boden des Glases festgehalten wird. Alsdann erwärme ich mittels einer Gasflamme das im oberen Teil des Gefäßes befindliche Wasser, und nach kurzer Zeit sehen wir oben das Wasser sieden, während unten das Eis ungeschmolzen verblieben ist. Die Leitfähigkeit des Wassers ist also klein genug, um innerhalb des Abstandes von etwa 10 cm einen Temperaturunterschied von 100° C zu ermöglichen.

Ein anderes Verfahren, das gleichfalls die Wärmeleitung im Wasser unabhängig vom Einfluß der Strömungen erkennen läßt, besteht in der Anwendung mehrerer ineinander gestellter

Digitized by Google

Gefäße. Ich habe hier drei Bechergläser verschiedener Größe, die so ineinander gestellt sind, daß eine Berührung durch dazwischen gebrachte Korkstückchen vermieden wird. Das innere Gefäß sowie die Zwischenräume der Glaswände fülle ich mit erwärmtem Wasser und gieße die gleiche Wassermenge der nämlichen Temperatur auch in ein einzelnes Glas entsprechender Größe, welches zum Vergleich daneben steht. An beiden Stellen verfolgen wir durch hineingebrachte Thermometer die allmählich sinkende Temperatur und finden die Abkühlung merklich rascher in dem Einzelgefäß. Denn in diesem treten infolge der von außen her wirkenden Abkühlung alsbald Strömungen auf, die an der Gefäßwand abwärts führen, während die wärmer gebliebene Flüssigkeit in der Mitte aufsteigt; in dem dreifachen Gefäß aber sind solche Strömungen auf die einzelnen Schichten beschränkt und daher nahezu wirkungslos.

Die Gase leiten die Wärme noch erheblich schlechter, als die Flüssigkeiten, und darum eignet sich Luft vortrefflich als Wärmeschutz für solche Gegenstände, deren Temperatur erheblich über oder unter derjenigen der Umgebung gehalten werden soll. Wie bei den Flüssigkeiten so kann auch hier durch Strömungen viel mehr Wärme als durch Leitung verbreitet werden, und diese Bewegungen muß man also überall da auszuschließen suchen, wo die Luft Wärmeschutz gewähren soll. Hiernach sind wir zu handeln gewöhnt, indem wir unsere Körperwärme durch die Kleidung zusammenhalten. Wäre der unbekleidete warme Körper von kühlerer Luft umgeben, so würde diese von ihm Wärme empfangen, sogleich aufsteigen und durch eine neue Schicht kühler Luft ersetzt werden. Die beständig erneuerte kältere Umgebung würde dem Körper viel mehr Wärme entziehen, als es diejenige Luftschicht vermag, welche in den Kleidern festgehalten wird und als einmal erwärmte, schlecht leitende Hülle die Körperwärme zusammenhält. Diese Bedeutung unserer Bekleidung wird bestätigt durch vielerlei tägliche Erfahrungen. So halten uns weite Gewänder, welche zwischen Stoff und Körper für eine nicht zu dünne Luftschicht Raum gewähren, viel wärmer, als eng anliegende Kleider, und mehrere an sich dünne Stoffschichten, zwischen denen sich Luft befindet, gleichen in ihrer Wirkung dem vorher erwähnten dreifachen Glas und schützen uns besser gegen die Kälte, als ein einzelner dicker Kleiderstoff. Ganz ebenso verhält es sich mit der Wirkung von

Digitized by Google

Pelz, Watte, Heu usw. Diese Stoffe gelten als schlechte Wärmeleiter, sie sind es aber nur darum, weil sie viel Luft enthalten und zugleich deren Strömungen verhindern. Auch der Schnee ist aus diesem Grunde ein schlechter Wärmeleiter und wird dadurch für das Gedeihen der Wintersaat überaus wichtig. Die Schneedecke wirkt für den Boden als Wärmeschutz ähnlich wie die Kleidung für unsern Körper, und je mehr die Bodenwärme zusammengehalten und am Übertritt in die äußere Luft gehindert wird, um so kälter ist diese. Demgemäß haben wir bei zusammenhängender Schneedecke zwar kaltes Wetter, im Boden aber wird die Wärme gerade durch den schützenden Schnee zusammengehalten, und es gedeihen dabei viele Keime, die im nackten Boden erfrieren würden.

Nun will ich noch einen Versuch zeigen, der uns die erheblich verschiedene Wärmeleitung in zweierlei Gas deutlich macht. Dazu benutze ich zwei ganz gleiche Glasröhren, in deren jeder ein dünner Platindraht ausgespannt ist, während die Enden der Röhren durch Korke verschlossen sind. Die beiden Drähte verbinde ich miteinander und schalte sie in den Stromkreis eines Akkumulators, so daß sie in helles Glühen geraten. Die beiden Röhren sind so eng, daß in ihrem Inneren nahezu gleichmäßige Temperatur herrscht und Strömungen daher keinen merklichen Einfluß haben können. Wenn ich nun in einer der Röhren die Luft durch Wasserstoff ersetze, glüht beim Schließen des elektrischen Stromes nur noch der andere, unverändert in Luft verbliebene Draht, nicht aber derjenige, welcher sich jetzt in Wasserstoff befindet. Um diesen Unterschied zu deuten, bedenken wir, daß dem heißen Draht durch Leitung des umgebenden Gases dauernd Wärme entzogen wird, und daß, je stärker dies geschieht, um so niederer seine Temperatur werden muß. Wenn nun der Wasserstoff die Wärme besser leitet, als die atmosphärische Luft, so ist damit erklärt, daß der in Wasserstoff befindliche Draht mehr Wärme durch Leitung verliert, als der von Luft umgebene, und daß nur der letztere noch heiß genug ist, um für unser Auge bemerkbar zu glühen.

In der folgenden Tabelle ist die Wärmeleitfähigkeit einiger Körper zusammengestellt, und zwar in folgender Bezeichnungsweise. Wenn die betreffende Substanz eine ebene Platte von 1 cm Dicke bildet und auf ihren beiden Seiten Temperaturen herrschen, die um 1^0 verschieden sind, so bewegt sich ein

Digitized by Google

beständiger Strom geleiteter Wärme von der wärmeren zur kälteren Seite, und zwar gehen durch jeden Quadratzentimeter in der Sekunde so viel Grammkalorien, als die Zahlen der Tabelle angeben. Diese Größe wird als die absolute Wärmeleitungsfähigkeit der Substanz bezeichnet, bezogen auf Zentimeter, Gramm, Sekunde und Celsiusgrad.

Absolute Wärmeleitungsfähigkeit.

Silber	1,00	Haare, m. Luft gemischt	0,000058
Kupfer	0,88	„ ohne Luft	0,00048
Gold	0,70	Schnee, frisch gefallen	0,000256
Aluminium	0,35	„ alte Lage	0,0015
Zink	0,26		
Messing	0,25	Quecksilber	0,016
Platin	0,17	Wasser	0,0014
Eisen	0,16	Äther	0,0004
Zinn	0,15	Alkohol	0,0005
Blei	0,08	Glyzerin	0,0006
Neusilber	0,07		
Wismut	0,018	Wasserstoff	0,00032
Marmor	0,006	Kohlensäure	0,00003
Porzellan	0,0025	Atmosphärische Luft	0,00005
Glas	0,0017	Stickstoff	0,00005
Kiefernholz, Faserrichtg.	0,0003	Sauerstoff	0,000056
„ , im Radius	0,00009		

Indem wir uns nunmehr der Strahlung zuwenden, erinnern wir uns des bereits erwähnten Gegensatzes zur Leitung: die Verbreitung der Wärme durch Strahlung geschieht rasch, und die Körper werden von den Strahlen in geradliniger Bahn durchsetzt. Beides können wir wahrnehmen, wenn eine Wolke an der Sonne vorüberzieht. Sobald die Sonne wieder frei ist, empfinden wir sofort von neuem ihre wärmende Wirkung, obgleich doch die Strahlen nun erst den Weg von der Wolke zu uns durchlaufen müssen, und wir schließen daraus, daß dieser Weg in überaus kurzer Zeit durchstrahlt wird. Das Ausbleiben der Wirkung während des Vorüberganges der Wolke lehrt uns andererseits die geradlinige Fortbewegung der Strahlen, denn nur solange gibt die Wolke uns Schatten und Abkühlung, als sie sich in der geradlinigen Verbindung zwischen der Sonne und unserem Standpunkt befindet. Das Gleiche ergibt sich aus der Anwendung des Ofenschirmes, durch den wir die Strahlenwirkung des Kaminfeuers oder des stark

Digitized by Google

geheizten Ofens zu mildern suchen, indem wir dabei erfahrungsgemäß und unwillkürlich die geradlinige Bahn der Strahlen voraussetzen.

Gestört wird dies geradlinige Fortschreiten überall da, wo die Strahlen auf die Grenze zweier Körper gelangen. Von den hierbei stattfindenden Vorgängen sei zunächst die Zurückwerfung (Reflexion) genannt, welche entweder als regelmäßige Zurückwerfung (Spiegelung) oder als unregelmäßige (diffuse) Zurückwerfung auftritt. Die erstere geschieht an glatten, blanken Flächen und folgt dem Spiegelungsgesetz, welches an der Lichtwirkung der Strahlen ebenso wie hier an ihrer Wärmewirkung erkannt werden kann. Es besagt, daß der einfallende und der gespiegelte Strahl in einer Ebene mit dem Einfallslot liegen und gegen dieses gleiche Neigung haben. Die

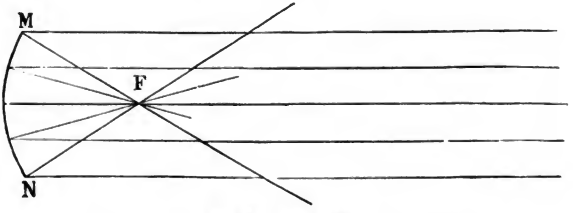


Fig. 28. Hohlspiegel.
(Nach Börnstein u. Marckwald, Sichtbare und unsichtbare Strahlen.)

Richtigkeit des Spiegelungsgesetzes zu prüfen, kann uns ein Hohlspiegel dienen, wie er in Fig. 28 abgebildet ist. Seine Krümmung ist derartig, daß alle parallel zur horizontalen Spiegelachse auf seine Fläche MN fallenden Strahlen nach einem Punkte, dem Brennpunkt F, gespiegelt werden, und daß ebenso in umgekehrter Richtung die von F kommenden Strahlen nach der Spiegelung parallel zur Achse verlaufen. Daß man mittels zweier Hohlspiegel die von einer Stelle ausgehende Strahlung großenteils an einer zweiten Stelle wieder vereinigen kann, sehen wir aus dem folgenden Versuch (Fig. 29). Im Brennpunkt eines Hohlspiegels bringe ich den Lichtbogen einer elektrischen Lampe (oder in deren Ermangelung eine rotglühend gemachte Eisenkugel) an und bewirke dadurch, daß die Strahlen dieser Wärmequelle auf die Fläche des Spiegels fallen und von

Digitized by Google

dieser als paralleles Bündel horizontal zurückgeworfen werden. Stelle ich gegenüber dem ersten einen zweiten Hohlspiegel auf, so wird die ankommende Strahlung von diesem aufgefangen und durch Spiegelung in seinem Brennpunkt vereinigt. Die hier stattfindende Ansammlung von Wärme reicht aus, um ein Stück Papier, das ich an jene Stelle halte, in Brand zu setzen. Dabei fällt uns ein Unterschied in dem Verhalten verschiedener Papiersorten auf: schwarzes Papier entzündet sich im Brennpunkt des Hohlspiegels rasch, bedrucktes, d. h. teilweise schwarzes

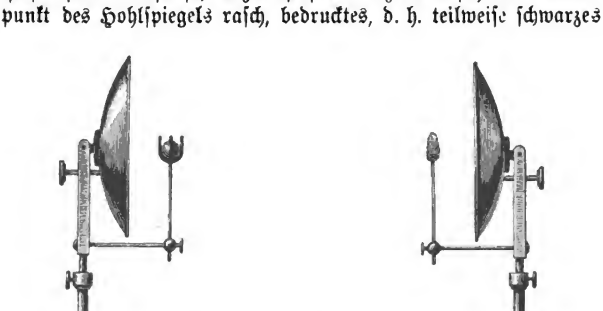


Fig. 29. Hohlspiegel.
(Nach Börnstein u. Marckwald, Sichtbare und unsichtbare Strahlen.)

Papier kaum weniger schnell; weißes Papier dagegen gerät entweder gar nicht in Brand oder doch erst nach erheblich längerer Einwirkung der Strahlen. Dies beruht auf der unregelmäßigen Zurückwerfung, welche die Strahlen in verschiedener Stärke an den Papierflächen finden. Das weiße Papier sendet einen erheblichen Teil der auffallenden Strahlung zurück, das schwarze nur wenig, und da allein der nicht zurückgeworfene Anteil der Strahlen eine Erwärmung des Papiers hervorrufen kann, so behält das weiße Blatt wenig, das schwarze viel Wärme zurück. Diese unregelmäßige Zurückwerfung ist nicht von der Richtung der einfallenden Strahlen abhängig, sondern findet nach allen Seiten hin statt.

Digitized by Google

Während ein Teil der Strahlung, die auf die Grenze zweier Körper fällt, in der obenerwähnten Art zurückgeworfen wird, beginnt der übrige Teil einzudringen. Wenn er bis zu merklicher Tiefe gelangt, ohne absorbiert zu werden, so tritt Brechung ein, d. h. der Strahl verändert seine Richtung beim Übergang aus einem Körper in einen zweiten um so mehr, je verschiedener die Geschwindigkeit seines Fortschreitens in beiden ist. Hat er eine größere Geschwindigkeit vor als nach dem Übergang, so wird er zum Einfallslot hin, anderenfalls von diesem Weg gebrochen. So werden z. B. von den Sonnenstrahlen die leichten, dünnen Luftschichten der Höhe rascher durchlaufen, als die dichteren Schichten, welche sich nahe am Boden befinden, und darum erleiden die Sonnenstrahlen in der Atmosphäre eine Brechung, welche zum Einfallslot gerichtet ist und vom geraden Wege nach unten hin abweicht (Fig. 30), von SD über C und B nach A führt.

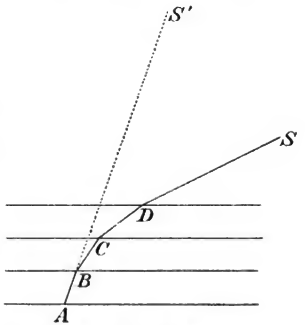


Fig. 30. Atmosphärische Strahlenbrechung. (Nach Börnstein und Marckwald, Sichtbare und unsichtbare Strahlen.)

Die Wärmewirkung gebrochener Strahlen zeigt ferner das „Brennglas", eine konvex geschliffene Glaslinse, welche die Strahlen der Sonne oder der elektrischen Bogenlampe durch Brechung ebenso vereinigt, wie wir es bei dem Hohlspiegel vermittelst Zurückwerfung erzeugten.

Eine andere Anwendung solcher Brechung finden wir beim Sonnenschein-Autographen, der an meteorologischen Stationen benutzt wird, um die Zeit des Sonnenscheins aufzuzeichnen (Fig. 31). Er besteht aus einer klaren Glaskugel, die den Sonnenstrahlen ausgesetzt wird und sie durch Brechung auf einem hinter der Kugel angebrachten Pappstreifen sammelt. Scheint die Sonne auf den Apparat, so brennt sie in die Pappe eine schwarze Spur und zeichnet während ihres täglichen Laufes einen entsprechenden Brandstreifen, der überall da unterbrochen ist, wo die Sonne von Wolken verhüllt war. Der Pappstreifen ist mit Vordruck versehen, auf welchem die ein-

Digitized by Google

zelnen Tagesstunden bezeichnet sind, und indem man für jeden Tag einen solchen Streifen der Besonnung aussetzt, ist nachher leicht zu ersehen, wann und wie lange die Sonne geschienen hat. Aus derartigen Aufzeichnungen hat sich z. B. ergeben, wie viel mehr Sonnenschein es auf dem Lande und in kleinen Orten gibt, als in großen Städten, deren Rauch- und Nebelmassen die Strahlungswirkung stören. Hamburg hatte im Jahre 1898 insgesamt nur 1026,3 Stunden Sonnenschein, während das in ganz ähnlicher geographischer Lage an der holsteinischen Küste gelegene Städtchen Meldorf im gleichen Jahre 1332,8 Sonnenscheinstunden zu verzeichnen hatte. Verglichen mit der möglichen Dauer des Sonnenscheins, d. h. mit der Summe der Tagesstunden ergibt dies für Hamburg 22,9 Prozent, für Meldorf 29,8 Proz. Sonnenscheindauer.

Fig. 31. Sonnenscheinautograph.
(Nach Börnstein u. Marckwald, Sichtbare und unsichtbare Strahlen.)

Endlich haben wir noch denjenigen Teil der auf die Grenze zweier Körper fallenden Strahlung zu betrachten, welcher weder zurückgeworfen, noch gebrochen wird. Dieser Teilbetrag wird absorbiert, d. h. er hört auf, als Strahlung fortzuschreiten, und die ihm innewohnende lebendige Kraft wird in Wärme umgesetzt. So wurde bei dem Versuch, den wir vorher mit den Hohlspiegeln anstellten, derjenige Teil der Strahlung, welchen das Papier absorbierte, in Wärme verwandelt, und zwar ein um so höherer Betrag, je weniger zurückgeworfen wurde. Das schwarze Papier absorbierte stärker als das weiße und wurde darum wärmer. Einen anderen Versuch, der gleichfalls die stärkere Absorption der dunkelen Flächen zeigt, stelle ich mit dem kleinen, als Lichtmühle (Radiometer) bezeichneten

Digitized by Google

Apparat (Fig. 32) an. Er besteht aus einem leichten Drehkreuz, welches in horizontaler Stellung auf einer Spitze ruht und um diese drehbar ist; an seinen vier Enden trägt es aufrecht stehende Glimmerblättchen, von denen je eine Seite mit Ruß geschwärzt ist, und zwar derartig, daß beim Drehen die schwarzen Flächen aller Platten an einem ruhenden Auge in der gleichen Stellung vorbeikommen. Das Ganze ist in ein gläsernes Gehäuse eingeschlossen, welches außerdem nur noch verdünnte Luft enthält. Im Tageslicht pflegt das Drehkreuz unbewegt zu verharren. Lasse ich aber jetzt aus geringer Entfernung die Strahlen des elektrischen Lichtbogens darauf fallen, so beginnt alsbald eine rasche Drehung, denn die schwarzen Flächen werden vermöge ihrer stärkeren Absorption mehr als die blanken Glimmerflächen erwärmt, ebenso auch die ihnen anliegende Luft, und indem diese sich ausdehnt, übt sie rückwirkend auf die schwarzen Flächen einen Druck aus, der an allen vier Enden des Kreuzes in gleichem Sinne auftritt und es in rasche Drehung versetzt.

Fig. 32. Lichtmühle.
(Nach Müller-Lehmann, Physik.)

Ähnlich wie die dunkelen zeichnen sich auch die matten oder rauhen Flächen durch starke Absorption der darauf fallenden Strahlung aus. Um dies zu verstehen, bedenken wir, daß ein rauher Körper mit allen seinen Unebenheiten, Erhöhungen und Vertiefungen erheblich größere Oberfläche besitzt, als ein glatter Körper von gleicher Größe und Gestalt, und daß demnach die rauhe Fläche mehr Gelegenheit zur Aufnahme der Strahlung bietet.

Der gleiche Unterschied, wie in betreff der Absorption einfallender Strahlung, findet auch bei der Aussendung von Strahlen statt. Ist ein wärmerer Körper von kälteren umgeben

Digitized by Google

und strahlt ihnen demnach Wärme zu, so geschieht diese Ausstrahlung stärker von dunkelen und von rauhen Flächen, als von hellen und glatten.

Hierauf beruht es, daß auf dunkelen oder rauhen Bodenstücken größere Temperaturschwankungen auftreten, als auf hellen oder glatten, weil jene am Tage mehr Strahlungswärme aufnehmen und nachts mehr verlieren.

Für einige weitere Absorptionsversuche soll uns die vorher schon benutzte Lichtmühle dienen. Ich stelle sie wieder so auf, daß sie durch die Strahlung der Bogenlampe in rasche Drehung versetzt wird, und bringe dann in den Gang der Strahlen ein Glasfläschchen, dessen ungefähr kugelförmiger Innenraum mit Wasser gefüllt ist. Sogleich beginnt die Mühle sich langsamer zu drehen und zeigt damit, daß das Wasser, welches wir als durchsichtig anzusehen gewöhnt sind, offenbar diejenigen Strahlen, die auf die Lichtmühle wirken, stark absorbiert und nur zu einem geringen Teil durchläßt. Nun ersetze ich das Wassergefäß durch ein zweites Fläschchen von derselben Größe und Gestalt, welches aber mit einer Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff gefüllt ist. Diese Flüssigkeit ist dunkelviolett und für das Auge schon in geringer Schichtdicke völlig undurchsichtig. Die Lichtmühle aber scheint anders als unsere Augen zu empfinden, denn sie verfällt sofort in schnelle Drehung und gewinnt sogar bald eine noch größere Geschwindigkeit, als sie ohne das Fläschchen hatte. Wir entnehmen daraus, daß diese dunkle Flüssigkeit für die auf die Lichtmühle wirkenden Strahlen viel durchlässiger ist, als das Wasser. Indem sie außerdem die Strahlen bricht und sammelt, vereinigt sie in der Lichtmühle eine größere Strahlungsmenge und erzeugt eine raschere Drehung, als es in Abwesenheit des Fläschchens der Fall ist.

Aus diesen Beobachtungen geht scheinbar hervor, daß wir es dabei mit zwei verschiedenen Arten von Strahlen zu tun hatten: Lichtstrahlen, die vom Wasser wenig und von der Jodlösung stark absorbiert werden, und Wärmestrahlen, bei denen das Umgekehrte zutrifft. So pflegte man früher in der Tat die Sache darzustellen, die Erfahrung lehrt aber, daß eine Trennung der Strahlen nach verschiedenen Wirkungsweisen nicht möglich ist, weil dieselbe Strahlung je nach Art des getroffenen Körpers in verschiedener Weise zu wirken vermag.

Digitized by Google

Eine Strahlung z. B., die unserem Auge als rotes Licht erscheint, ruft am Thermometer Erwärmung und auf der photographischen Platte chemische Änderung hervor. Wollen wir verschiedene Gattungen von Strahlen unterscheiden, so kann es nicht nach der Wirkung geschehen, sondern nur nach der Beschaffenheit der Strahlen selbst. Über diese geben uns Erscheinungen Aufschluß, die hier nur kurze Erwähnung finden können: Interferenz, Beugung und Polarisation*); indem wir diese Vorgänge vermittelst der verschiedenen Strahlenwirkungen erforschen, finden wir, daß es Transversalwellen des Äthers sind, welche als Strahlen den Raum durcheilen und in denjenigen Körpern, von denen sie absorbiert werden, Licht, Wärme, chemische Änderung usw. durch Umsetzung der mitgeführten Energie erzeugen. Untereinander sind diese Wellen durch ihre Länge verschieden, d. h. durch den Abstand, in welchem je zwei Wellenberge aufeinander folgen, und da die Brechbarkeit der Strahlen sich mit der Wellenlänge regelmäßig ändert, kann man den Vorgang der Brechung dazu benutzen, um die verschiedenen Strahlen voneinander zu trennen und jede einzelne Wellenlänge für sich zu untersuchen. Läßt man zu diesem Zweck die Strahlen der Sonne durch ein brechendes

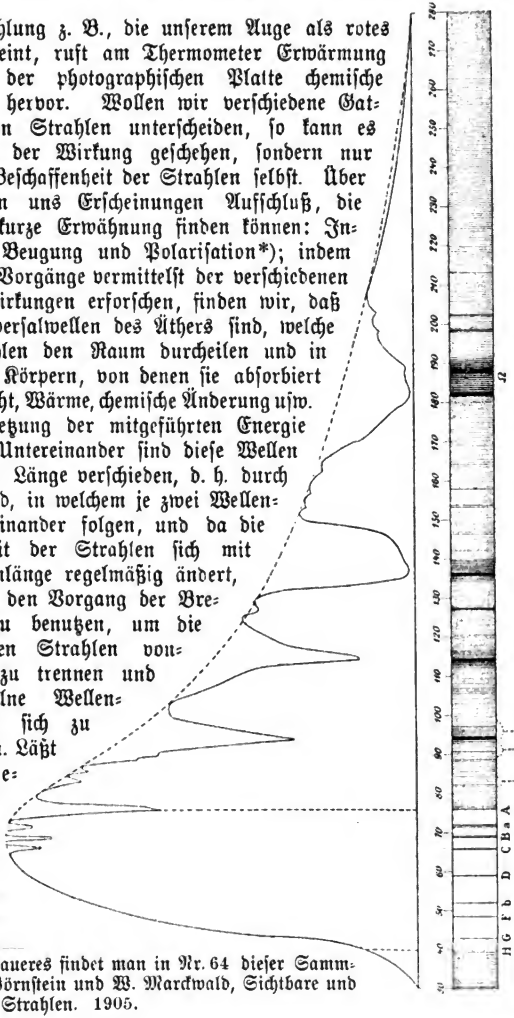


Fig. 33. Wärmespektrum der Sonne. (Nach Börnstein u. Marckwald, Sichtbare und unsichtbare Strahlen.)

*) Genaueres findet man in Nr. 64 dieser Sammlung: R. Börnstein und W. Marckwald, Sichtbare und unsichtbare Strahlen. 1905.

Digitized by Google

Prisma gehen und nach der Brechung auf einen Schirm fallen, so erhält man ein Spektrum, dessen durch Wärmewirkung nachweisbarer Teil in Fig. 33 gezeichnet ist. Darin folgen von links nach rechts die Strahlen aufeinander nach wachsender Wellenlänge und nach abnehmender Brechbarkeit.

Die Zahlen geben die Wellenlängen in Hunderttausendsteln des Millimeters an; nur der hell gezeichnete Teil zwischen *A* (rot) und *H* (violett) ist dem Auge bemerkbar, das ganze übrige, in der Zeichnung schraffierte Spektrum erscheint dunkel und wird ultraviolett resp. ultrarot genannt in denjenigen Teilen, die sich an den violetten (links) resp. roten (rechts) Teil des Spektrums anschließen. Daß wir diese Strahlenarten nicht sehen können, liegt allein an der begrenzten Wahrnehmungsfähigkeit unserer Augen, denn ein anderer Unterschied als derjenige der Wellenlänge besteht zwischen dem sichtbaren und unsichtbaren Teil des Spektrums nicht. Als Fraunhofersche Linien bezeichnet man Unterbrechungen des Spektrums, welche von der Absorption der betreffenden Strahlen in der Atmosphäre der Sonne oder der Erde herrühren und an den durch schwarze Linien erkennbar gemachten Stellen als dunkle und kühle Lücken erscheinen. Die oberhalb des Spektrums gezeichnete Linie gibt durch ihre wechselnde Höhe die Verteilung der Wärmewirkung an, gemessen mittels eines als Bolometer bezeichneten thermometrischen Apparates; man erkennt darin als kühlere Stellen die unten gezeichneten Fraunhoferschen Linien, und sieht, daß die Wärmewirkung sich vom äußersten Ultrarot bis in das Ultraviolett hinein erstreckt.

Die folgende Tabelle enthält die Längen derjenigen Ätherwellen, welche man bisher mittels verschiedener Arten der Strahlenwirkung nachzuweisen vermochte.

Wellenlängen in Luft.

Röntgenstrahlen (wahrscheinlich) etwa	0,01	Hunderttausendstel	mm
Ultraviolett, kürzeste beobachtete, etwa	10	„	„
Violett	36 bis 42	„	„
Blau	42 „ 49	„	„
Grün	49 „ 54	„	„
Gelb	54 „ 59	„	„
Gelbrot	59 „ 65	„	„
Rot.	65 „ 81	„	„
Ultrarot, längste beobachtete . . .	6100	„	„
Hertzsche elektrodynamische Wellen, kürzeste beobachtete	4 mm		
Elektr. Wellen der Funkentelegraphie	100 bis 1000 m.		

Digitized by Google

Verzeichnis der im Text beschriebenen Unterrichtsversuche.

Seite

Ausdehnung, Ring mit Kugel Fig. 1 1
Kraftwirkung beim Abkühlen und Verkürzen eines Stahlstabes Fig. 2 2
Verschiedene Ausdehnung von Kupfer und Stahl Fig. 3 3
Zersprengen einer Glaskugel durch Erwärmen ihres Inhalts (Wasser oder Luft) . 6
Bewegung einseitig erwärmten Wassers Fig. 7 . . . 8
Aufsteigender Luftstrom bei örtlicher Erwärmung, sichtbar gemacht durch Tabaksrauch Fig. 8 10
Lichtbrechung im aufsteigenden, warmen Luftstrom . . 11
Ausdehnung des Wassers . . 13
Sprengen einer Bombe durch gefrierendes Wasser . . . 13
Sprengen eines Probierglächens durch erstarrendes Wismut 14
Anfängliches Sinken eines Thermometers beim raschen Erwärmen 18
Quecksilberthermometer mit Hartgummi-Gefäß („verkehrtes Thermometer") . . 19
Vergleichung spezifischer Wärmen durch Wachsschmelzen Fig. 10 21
Vergleichung der spezifischen Wärme von Kupfer und Blei im Thermoskop Fig. 11 . 23
Verlöschen einer Kerzenflamme in abgeschlossenem Luftraum 27
Unvollständige und vollständige Verbrennung von Leuchtgas im Bunsenbrenner 28
Dynamische Erwärmung im pneumatischen Feuerzeug . 37

Seite

Dynamische Erwärmung und Abkühlung, gezeigt mittels Thermoskops 37
Reibungswärme 40
Leicht schmelzbare Legierungen 43
Regelationsversuche 44
Sieden von Wasser unter geringem Druck 58
Dampfdruck verschiedener Flüssigkeiten 59
Dampfstrahl mit unterkühltem Dampf und Kondensation durch Staub 63
Versuche mit flüssiger Luft . 68
Kritischer Zustand des Äthers 70
Verdunstungskälte, gezeigt mittels Thermoskops . . . 73
Verdunstungskälte von Schwefelkohlenstoff 74
Bestimmung der Verdampfungswärme des Wassers . 74
Nebelbildung durch dynamische Abkühlung feuchter, staubhaltiger Luft 90
Leydenfrostscher Versuch und seine Umkehrung 96
Wärmeleitung in einem Metallstab 107
Vergleich der Wärmeleitung in verschiedenen Stoffen . 109
Wärmeleitung in einem Drahtnetz 109
Anwendung auf die Davysche Sicherheitslampe 110
Wärmeleitung in Kristallen . 110
Schlechte Wärmeleitung in Wasser 111, 112
Wärmeleitung in Luft und Wasserstoff 113
Hohlspiegel-Versuche 115
Radiometer-Versuche 120

Digitized by Google

Verzeichnis der in Tabellenform mitgeteilten Zahlenangaben.

	Seite
Lineare Ausdehnungskoeffizienten	4
Kubische Ausdehnungskoeffizienten	12
Thermometerskalen	17
Spezifische Wärme fester und flüssiger Körper	25
Verbrennungswärme von Brennmaterial	27
Verbindungs- und Lösungswärmen	29
Kältemischungen	30
Spezifische Wärme von Gasen bei konstantem Druck	34
Schmelztemperaturen	43
Schmelzwärmen	51
Siedetemperatur des Wassers bei verschiedenen Barometerständen	58
Sättigungstemperaturen und -drucke	62
Siedepunkte beim Druck einer Atmosphäre	63
Sättigungstemperaturen und -drucke für schwer zu verflüssigende Körper	65
Kritische Temperaturen und Drucke	71
Verdampfungswärmen	75
Sättigungstemperaturen und -drucke des Wasserdampfes (Taupunkte)	79
Psychrometertafel	84
Verhalten gesättigten Wasserdampfes (Gesamtwärme und Dichte)	97
Brennstoffverbrauch und Wirkungsgrad verschiedener Maschinen	105
Absolute Wärmeleitungsfähigkeit	114
Wellenlängen in Luft für alle bekannten Ätherwellen	122

Alphabetisches Verzeichnis.

Absolute Luftfeuchtigkeit 78.
Absolute Wärmeleitungsfähigkeit 114.
Absorption 118.
Ansatzkerne 64, 91.
Aspirationspsychrometer 82.
Atmosphärische Feuchtigkeit 77.
Atmosphärische Strahlenbrechung 117.
Aufsteigender Luftstrom 93.
Augusts Psychrometer 82.
Ausdehnung beim Erwärmen 1.
Auspuffmaschine 99.
Barometer 60.
Benzinmaschine 104.
Bewegung der Wärme 107.
Binnenklima 25.
Böen 48.
Bolometer 122.
Bouillau 16. [117.
Brechung der Strahlen
Brennglas 117.
Brennstoffverbrauch 105.
Bunsenbrenner 28.
Celsius 16.
Chamisso 39.
Dampfdruck 60, 71, 78.
Dampfheizung 76.
Dampfkessel 98.
Dampfmaschine 98.
Dampfturbine 106.
Dampfwärme 97.
Dichte 8.
Dichtemaximum 13.
Doppeltwirkende Maschine 99.
Drebbel 15.
Dynamische Erwärmung und Abkühlung 36.

Digitized by Google

Einfachwirkende Maschine 98.
Einspritzkondensator 101.
Eis, Ausdehnung 13.
Eiskalorimeter 54.
Eiskeller 53.
Eisregen 48.
Energie 35.
Erstarren 42
Erstarrungspunkt 42.
Expansionsmaschine 99.

Fahrenheit 16.
Fallgeschwindigkeit des Regens 94.
Fallwinde 89. [77.
Feuchtigkeit der Luft
Feuerzeug, pneumatisches 36.
Flüssige Luft 67.
Flüssigkeiten, Ausdehnung 6.
Föhn 87.
Fraunhofersche Linien 122.
Freiwillige Verdampfung 73.

Galilei 15.
Gase, Ausdehnung 6.
Gebundene Wärme 50, 73.
Gefrieren, Ausdehnung dabei 13.
Gefrierpunktserniedrigung 49.
Gesättigter Dampf 61.
Gesamtwärme von Dampf 97.
Gletscher 46
Graupeln 48.

Haarhygrometer 80.
Hagel 48.
Hagelstadium 94.
Heißdampfmaschine 102.
Heißluftmaschine 103.
Heizkraft 27.
Hochdruckzylinder 100.
Höhenthermometer 58.
Hohlspiegel 115.
Hygrometer 80.
Hypsothermometer 58.

Jenaer Thermometerglas 18.
Jonen 91.
Joule 40.

Kältemaschine 67.
Kältemischungen 14, 31.
Kalibrieren von Thermometern 18.
Kalmengürtel 9.
Kalorie 24.
Kleidung, Wärmewirkung 112.
Kolben 98.
Kolbenstange 98.
Kolbenüberdruck 98.
Kompensationsstreifen 3.
Kondensator 101.
Kondensationshygrometer 81.
Kondensationskerne 64, 91.
Kondensationswärme 73.
Kondensieren 64.
Kreuzkopf 98.
Kristalle, Wärmeleitung 110.
Kritischer Zustand 70.
Kubische Ausdehnung 12.
Kurbel 98.

Längenmessung 6.
Land- und Seewind 10.
Latente Wärme 50, 73.
Legierungen, leicht schmelzbare 43.
Leitung der Wärme 107. [104.
Leuchtgasmaschine
Leydenfrostscher Versuch 96.
Lichtmühle 118.
Linde 67.
Lineare Ausdehnung 3.
Linné 17.
Lösungswärme 30.
Luftfeuchtigkeit 77.
Luftpumpe 101.
Luftthermometer 19.

Mechanisches Äquivalent 35, 41.
Mehrstufige Expansion 100.
Mischungsverhältnis 78. [101.
Mitteldruckzylinder
Monsun 10.

Nachtfrostprognose 87.
Nebelbildung 90, 92.
Niederdruckzylinder 100.

Oberflächenkondensator 101.

Passatwind 10.
Permanente Gase 65.
Petroleummaschine 104.
Pictetsche Flüssigkeit 76.
Platzregen 48.
Pneumatisches Feuerzeug 36.
Psychrometer 82.
Psychrometertafel 84.

Quellen der Kälte 31, 54.
Quellen der Wärme 26.

Radiometer 118.
Réaumur 16.
Reflexion 115.
Regelation 46.
Regenstadium 93.
Reif 92.
Relative Luftfeuchtigkeit 80.
Rippenkörper 76.
Roses Metall 43.
Rostpendel 5.
Rubens 41.
Rußbildung 28.

Digitized by Google

Sättigung 61.
Sauggasmaschine 104.
Schienenstoß 4.
Schlittschuhlaufen 46.
Schmelzen 42.
Schmelzpunkt 42.
Schmelzwärme 50.
Schneegrenze 46.
Schneestadium 95.
Schubstange 98.
Schwüle 83.
Schwungrad 98.
Seeklima 25.
Seewind 10.
Sicherheitslampe 110.
Sicherheitsplatten 44.
Sieden 57.
Siedepunkt 57, 62.
Siedepunktserhöhung 63.
Siedeverzug 63.
Sonnenschein-Autograph 117.
Sonnenwärme 26.
Spektrum 122.
Spezifische Feuchtigkeit 78.
Spezifische Wärme 24, 32, 54.
Spiegelung 115.
Spiritusmaschine 104.
Springen ungleichmäßig erwärmter Gläser 2.
Stationärer Zustand 108.
Staubteilchen als Kondensationskerne 64, [91.
Steuerung 99.
Strahlung 114.

Tau 92.
Taupunkt 79.
Taupunktshygrometer 81.
Temperatur u. Wärme 20.
Thermometer 15.
Thermophor 52.
Thermoskop 23.
Torricellis Vakuum 60.
Toter Punkt 99.
Trockenstadium 93.
Turbine 105.

Überhitzer 102.
Überhitzter Dampf 61.
Überkaltung 47, 51.
Überschmelzung 47, 51.
Ultrarot 122.
Ultraviolett 122.
Ungesättigter Dampf 61.
Unruhe 5.

Verbrennung 27.
Verbindungswärme 29.
Verbundmaschine 101.
Verdampfungswärme 73.
Verdränger 103.
Verdünnungswärme 30.
Verdunsten 73.
Verdunstungskälte 73.
Verflüssigen 64.
Verflüssigen von Gasen 65, 75.
Volldruckmaschine 99.

Wärmeleitung 107.
Wärmemaschinen 95.
Wärmemenge 25.
Wärmemessung 20, 25.
Wärmequellen 26.
Wärmestrahlung 114.
Wärmetönung 29.
Warmwasserheizung 9.
Wasser, Ausdehnung 13.
Wasserstoffthermometer 19.
Welle 98.
Wellenlänge 122.
Winderzeugung 9.
Wirkungsgrad 104.
Wolkenbildung 38, 90.

Zentralheizung 9.
Zurückwerfung 115.
Zusammenziehen beim Erkalten 2.
Zylinder 98.

Digitized by Google

Aus Natur und Geisteswelt

Preis jedes Bändchens geheftet Mark 1.—, gebunden Mark 1.25

Sichtbare und unsichtbare Strahlen.

Von Professor Dr. R. Börnstein und Professor Dr. W. Marckwald. Mit 82 Abbildungen im Text.

Schildert die verschiedenen Arten der Strahlen, darunter die Kathoden- und Röntgenstrahlen, die Hertzschen Wellen, die Strahlungen der radioaktiven Körper (Uran und Radium) nach ihrer Entstehung und Wirkungsweise, unter Darstellung der charakteristischen Vorgänge der Strahlung.

„... Ein ganz ausgezeichnetes Werkchen. In klarer, gemeinverständlicher und zum Teil ganz origineller Form werden die charakteristischen Eigenschaften jeder Wellenbewegung entwickelt und zunächst an dem Beispiel der Wasserwellen erörtert, hierauf bei den verschiedenen Gattungen der Luft und Ätherwellen aufgezeigt und physikalisch interpretiert, wobei stets die Phänomene des täglichen Lebens besonders berücksichtigt werden. Daß der von Marckwald herrührende Abschnitt über Radioaktivität mit großer Sachkenntnis geschrieben ist, braucht wohl nicht erst betont zu werden."

(Monatshefte für Mathematik und Physik. 1906. Heft 2.)

Das Licht und die Farben.

Sechs Vorlesungen von Professor Dr. L. Graetz. 2. Auflage. Mit 116 Abbildungen.

Führt von den einfachsten optischen Erscheinungen ausgehend, zur tieferen Einsicht in die Natur des Lichtes und der Farben, behandelt, ausgehend von der scheinbar geradlinigen Ausbreitung, Zurückwerfung und Brechung des Lichtes, das Wesen der Farben, die Beugungserscheinungen und die Photographie.

„. . .Es muß gesagt werden, daß dem Verfasser die Lösung dieser Aufgabe in ganz ausgezeichneter Weise gelungen ist. Vor allem sind dem Buche zwei Vorzüge nachzurühmen. Der eine ist die vorzügliche Auswahl und Durchführung der Experimente, der zweite besteht darin, daß Gebiete in den Rahmen der Vorlesungen aufgenommen und höchst anschaulich dargestellt sind, welche wohl sonst bei populären Darstellungen der Optik kaum anzutreffen sind . . Das Büchlein ist, eben wegen der sorgfältigen Auswahl und ausgezeichneten Durchführung der Experimente, sowie wegen der weiten Grenzen des besprochenen Gebietes, nicht nur höchst belehrend für den Laien, sondern auch eine anregende Lektüre für den Fachmann."

(Zeitschrift für Elektrotechnik. 19. Jahrgang. Heft 20.)

Wind und Wetter.

Von Professor Leonh. Weber. Mit 27 Figuren im Text und 3 Tafeln.

Schildert die historischen Wurzeln der Meteorologie, ihre physikalischen Grundlagen und ihre Bedeutung im gesamten Gebiete des Wissens, erörtert die hauptsächlichsten Aufgaben, welche dem ausübenden Meteorologen obliegen, wie die praktische Anwendung in der Wettervorhersage.

Das astronomische Weltbild im Wandel der Zeit.

Von Professor Dr. S. Oppenheim. Mit 24 Abbildungen im Text.

Schildert den Kampf der beiden hauptsächlichsten „Weltbilder": des die Erde und des die Sonne als Mittelpunkt betrachtenden, die einen bedeutungsvollen Abschnitt in der Kulturgeschichte der Menschheit bilden, wie er schon im Altertum bei den Griechen entstanden ist, anderthalb Jahrtausende später zu Beginn der Neuzeit durch Kopernikus von neuem aufgenommen wurde und da erst mit einem Siege des heliozentrischen Systems schloß.

Die optischen Instrumente.

Von Dr. M. von Rohr. Mit 84 Abbildungen im Text.

Gibt eine elementare Darstellung nach modernen Anschauungen, wobei weder das Ultramikroskop noch die neuen Apparate zur Mikrophotographie mit ultravioletten Licht (Monochromate), weder die Prismen- noch die Zielfernrohre, weder die Projektionsapparate noch die stereoskopischen Entfernungsmesser und der Stereokomparator fehlen.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Digitized by Google

Aus Natur und Geisteswelt

Preis jedes Bändchens geheftet Mark 1.—, gebunden Mark 1.25

Moleküle – Atome – Weltäther. Von Professor Dr. G. Mie. 2. Auflage. Mit 27 Figuren im Text.

Stellt die physikalische Atomlehre als die kurze logische Zusammenfassung einer großen Menge physikalischer Tatsachen unter einem Begriffe dar, die ausführlich und nach Möglichkeit als einzelne Experimente geschildert werden.

„...Das Thema: „Moleküle, Atome, Weltäther" wird in dem vorliegenden Büchlein in anziehender Sprache und durchaus populärer Form derartig behandelt, daß dem gebildeten, aber nicht mit besonderer naturwissenschaftlicher Fachbildung versehenen Leser ein Verständnis für die modernsten Probleme der Aetherphysik geweckt wird. ... Für naturwissenschaftlich interessierte Gebildete jeden Standes verdient Mies Darstellung warm empfohlen zu werden."
(Physikalische Zeitschrift.)

Die Beleuchtungsarten der Gegenwart. Von Dr. phil. Wilhelm Brüsch. Mit 155 Abbildungen.

Gibt einen Überblick über ein gewaltiges Arbeitsfeld deutscher Technik und Wissenschaft, indem die technischen und wissenschaftlichen Bedingungen für die Herstellung einer wirtschaftlichen Lichtquelle und die Methoden für die Beurteilung ihres wirklichen Wertes für den Verbraucher, die einzelnen Beleuchtungsarten sowohl hinsichtlich ihrer physikalischen und chemischen Grundlagen als auch ihrer Technik und Herstellung behandelt werden.

Luft, Wasser, Licht und Wärme. Neun Vorträge aus dem Gebiete der Experimental-Chemie. Von Professor Dr. R. Blochmann. 2. Auflage. Mit zahlreichen Abbildungen im Text.

Führt unter besonderer Berücksichtigung der alltäglichen Erscheinungen des praktischen Lebens in das Verständnis der chemischen Erscheinungen ein und zeigt die praktische Bedeutung desselben für unser Wohlergehen.

„..Trotz der großen Fülle des Materiales, welches der Autor in diese neun Vorträge zusammengedrängt hat, ist die Entwicklung des Ganzen klar und übersichtlich, die sehr gut aufgestellte logische Disposition überall streng durchgeführt; die Sprache ist allgemein verständlich und gleichzeitig wissenschaftlich genau und die Darstellung eine so formgewandte und anziehende, daß wohl jedermann, Fachmann wie Laie, das Buch mit Vergnügen und Interesse und sicherlich auch nicht ohne Nutzen lesen wird. Die nett ausgeführten, sehr zahlreichen Abbildungen erleichtern wesentlich das Verständnis des Gelesenen. Das besprochene Büchlein kann daher wärmstens empfohlen werden."
(Land- und forstw. Unterrichts-Zeitung.)

Elektrotechnik. Grundlagen der Elektrotechnik. Von Dr. Rud. Blochmann. Mit zahlreichen Abbildungen im Text.

Eine durch lehrreiche Abbildungen unterstützte Darstellung der elektrischen Erscheinungen, ihrer Grundgesetze und ihrer Beziehungen zum Magnetismus, sowie eine Einführung in das Verständnis der zahlreichen praktischen Anwendungen der Elektrizität in den Maschinen zur Krafterzeugung, wie in der elektrischen Beleuchtung und in der Chemie.

Die Telegraphie in ihrer Entwicklung und Bedeutung. Von Postrat J. Bruns. Mit zahlreichen Abbildungen im Text.

Gibt auf der Grundlage eingehender praktischer Kenntnis der einschlägigen Verhältnisse einen Einblick in das für die heutige Kultur so bedeutungsvolle Gebiet der Telegraphie und seine großartigen Fortschritte. Nach einem Überblick über die Entwicklung dieses Nachrichtenwesens aus seinen akustischen und optischen Anfängen werden zunächst die internationalen und nationalen rechtlichen, danach die technischen Grundlagen (Stromquellen, Leitungen, Apparate 2c.) behandelt, danach die Organisation des Fernsprechwesens, die Unterseekabel, die großen festländischen Telegraphenlinien und die einzelnen Zweige des Telegraphen- und Fernsprechbetriebsdienstes erörtert.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Digitized by Google

Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens

Geheftet 1 Mark.

in Bändchen von 130–160 Seiten. Jedes Bändchen ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich.

Gebunden Mk. 1.25.

Die Sammlung „Aus Natur und Geisteswelt" sucht ihre Aufgabe nicht in der Vorführung einer Fülle von Lehrstoff und Lehrsätzen oder etwa gar unerwiesenen Hypothesen, sondern darin, dem Leser Verständnis dafür zu vermitteln, wie die moderne Wissenschaft es erreicht hat, über wichtige Fragen von allgemeinstem Interesse Licht zu verbreiten. Sie will dem Einzelnen ermöglichen, wenigstens an einem Punkte sich über den engen Kreis, in den ihn heute meist der Beruf einschließt, zu erheben, an einem Punkte die Freiheit und Selbständigkeit des geistigen Lebens zu gewinnen. In diesem Sinne bieten die einzelnen in sich abgeschlossenen Schriften gerade dem „Laien" auf dem betreffenden Gebiete in voller Anschaulichkeit und lebendiger Frische eine gedrängte, aber anregende Übersicht.

Aberglaube s. Heilwissenschaft.

Abstammungslehre. Abstammungslehre und Darwinismus. Von Professor Dr. R. Hesse. 2. Auflage. Mit 37 Figuren im Text. (Nr. 39.)

Die Darstellung der großen Errungenschaft der biologischen Forschung des vorigen Jahrhunderts, der Abstammungslehre, erörtert die zwei Fragen: „Was nötigt uns zur Annahme der Abstammungslehre?" und — die viel schwierigere — „wie geschah die Umwandlung der Tier- und Pflanzenarten, welche die Abstammungslehre fordert?" oder: „wie wird die Abstammung erklärt?"

Algebra s. Arithmetik.

Alkoholismus. Der Alkoholismus, seine Wirkungen und seine Bekämpfung. Herausgegeben vom Zentralverband zur Bekämpfung des Alkoholismus. 3 Bändchen. (Nr. 103. 104. 145.)

Die drei Bändchen sind ein kleines wissenschaftliches Kompendium der Alkoholfrage, verfaßt von den besten Kennern der mit ihr verbundenen sozial-hygienischen und sozial-ethischen Probleme. Sie enthalten eine Fülle von Material in übersichtlicher und schöner Darstellung und sind unentbehrlich für alle, denen die Bekämpfung des Alkoholismus als eine der wichtigsten und bedeutungsvollsten Aufgaben ernster, sittlicher und sozialer Kulturarbeit am Herzen liegt.

Band I. Der Alkohol und das Kind. Die Aufgaben der Schule im Kampf gegen den Alkoholismus. Der Alkoholismus und der Arbeiterstand. Alkoholismus und Armenpflege.

Band II. Alkoholismus und Nervosität. Alkohol und Geisteskrankheiten. Alkoholismus und Prostitution. Alkohol und Verkehrswesen.

Band III. Alkohol und Seelenleben. Alkohol und Strafgesetz. Einrichtungen im Kampf gegen den Alkohol. Einwirkungen des Alkohols auf die inneren Organe. Alkohol als Nahrungsmittel. Älteste deutsche Mäßigkeitsbewegung.

Ameisen. Die Ameisen. Von Dr. Friedrich Knauer. Mit 61 Figuren. (Nr. 94.)

Faßt die Ergebnisse der so interessanten Forschungen über das Tun und Treiben einheimischer und exotischer Ameisen, über die Vielgestaltigkeit der Formen im Ameisenstaate, über die Bautätigkeit, Brutpflege und ganze Ökonomie der Ameisen, über ihr Zusammenleben mit anderen Tieren und mit Pflanzen, über die Sinnestätigkeit der Ameisen und über andere interessante Details aus dem Ameisenleben zusammen.

Digitized by Google

Amerika (s. a. Schulwesen). Aus dem amerikanischen Wirtschaftsleben. Von Prof. J. Laurence Laughlin. Mit 9 graph. Darstellungen. (Nr. 127.)

Ein Amerikaner behandelt für deutsche Leser die Fragen, die augenblicklich im Vordergrunde des öffentlichen Lebens in Amerika stehen, den Wettbewerb zwischen den Vereinigten Staaten und Europa — Schutzzoll und Reziprozität in den Vereinigten Staaten — Die Arbeiterfrage in den Vereinigten Staaten — Die amerikanische Trustfrage — Die Eisenbahnfrage in den Vereinigten Staaten — Die Bankfrage in den Vereinigten Staaten — Die herrschenden volkswirtschaftlichen Ideen in den Vereinigten Staaten.

——— Geschichte der Vereinigten Staaten von Amerika. Von Dr. E. Daenell. (Nr. 147.)

Gibt in großen Zügen eine übersichtliche Darstellung der geschichtlichen, kulturgeschichtlichen und wirtschaftlichen Entwicklung der Vereinigten Staaten von den ersten Kolonisationsversuchen bis zur jüngsten Gegenwart mit besonderer Berücksichtigung der verschiedenen politischen, ethnographischen, sozialen und wirtschaftlichen Probleme, die zur Zeit die Amerikaner besonders bewegen.

Anthropologie s. Mensch.

Arbeiterschutz. Arbeiterschutz und Arbeiterversicherung. Von weil. Professor Dr. O. v. Zwiedineck-Südenhorst. (Nr. 78.)

Das Buch bietet eine gedrängte Darstellung des gemeiniglich unter dem Titel „Arbeiterfrage" behandelten Stoffes; insbesondere treten die Fragen der Notwendigkeit, Zweckmäßigkeit und der ökonomischen Begrenzung der einzelnen Schutzmaßnahmen und Versicherungseinrichtungen in den Vordergrund.

Arithmetik und Algebra (s. a. Mathematische Spiele) zum Selbstunterricht. Von Professor Dr. P. Crantz. I. Teil: Die Rechnungsarten. Gleichungen ersten Grades mit einer und mehreren Unbekannten. Gleichungen zweiten Grades. Mit 9 Figuren im Text. (Nr. 120.)

Will in leicht faßlicher und für das Selbststudium geeigneter Darstellung über die Anfangsgründe der Arithmetik und Algebra unterrichten und behandelt die sieben Rechnungsarten, die Gleichungen ersten Grades mit einer und mehreren Unbekannten und die Gleichungen zweiten Grades mit einer Unbekannten, wobei auch die Logarithmen so ausführlich behandelt sind, daß jemand an der Hand des Buches sich auch vollständig mit dem Gebrauche der Logarithmentafeln vertraut machen kann.

Astronomie (s. a. Kalender; Mond; Weltall). Das astronomische Weltbild im Wandel der Zeit. Von Professor Dr. S. Oppenheim. Mit 24 Abbildungen im Text. (Nr. 110.)

Schildert den Kampf der beiden hauptsächlichsten „Weltbilder", des die Erde und des die Sonne als Mittelpunkt betrachtenden, der einen bedeutungsvollen Abschnitt in der Kulturgeschichte der Menschheit bildet, wie er schon im Altertum bei den Griechen entstanden ist, anderthalb Jahrtausende später zu Beginn der Neuzeit durch Kopernikus von neuem aufgenommen wurde und da erst mit einem Siege des heliozentrischen Systems schloß.

Atome s. Moleküle.

Auge. Das Auge des Menschen und seine Gesundheitspflege. Von Privatdozent Dr. med. Georg Abelsdorff. Mit 15 Abb. im Text. (Nr. 149.)

Schildert die Anatomie des menschlichen Auges sowie die Leistungen des Gesichtssinnes, besonders soweit sie außer dem medizinischen ein allgemein wissenschaftliches oder ästhetisches Interesse beanspruchen können, und behandelt die Gesundheitspflege (Hygiene) des Auges, besonders Schädigungen, Erkrankungen und Verletzungen des Auges, Kurzsichtigkeit und erhebliche Augenkrankheiten, sowie die künstliche Beleuchtung.

Digitized by Google

Automobil. Das Automobil. Eine Einführung in Bau und Betrieb des modernen Kraftwagens. Von Ing. Karl Blau. Mit 83 Abb. (Nr. 166.)

Gibt in gedrängter Darstellung und leichtfaßlicher Form einen anschaulichen Überblick über das Gesamtgebiet des modernen Automobilismus, so daß sich auch der Nichttechniker mit den Grundprinzipien rasch vertraut machen kann, und behandelt das Benzinautomobil, das Elektromobil und das Dampfautomobil nach ihren Kraftquellen und sonstigen technischen Einrichtungen, wie Zündung, Kühlung, Bremsen, Stundung, Bereifung usw.

Baukunst (s. a. Städtebilder). Deutsche Baukunst im Mittelalter. Von Professor Dr. A. Matthaei. 2. Auflage. Mit Abbildungen im Text und auf 2 Doppeltafeln. (Nr. 8.)

Der Verfasser will mit der Darstellung der Entwicklung der deutschen Baukunst des Mittelalters zugleich über das Wesen der Baukunst als Kunst aufklären, indem er zeigt, wie sich im Verlauf der Entwicklung die Raumvorstellung klärt und vertieft, wie das technische Können wächst und die praktischen Aufgaben sich erweitern, wie die romanische Kunst geschaffen und zur Gotik weiter entwickelt wird.

Beethoven s. Musik.

Befruchtungsvorgang. Der Befruchtungsvorgang, sein Wesen und seine Bedeutung. Von Dr. Ernst Teichmann. Mit 7 Abbildungen im Text und 4 Doppeltafeln. (Nr. 70.)

Will die Ergebnisse der modernen Forschung, die sich mit dem Befruchtungsproblem befaßt, darstellen. Ei und Samen, ihre Genese, ihre Reifung und ihre Vereinigung werden behandelt, im Chromatin die materielle Grundlage der Vererbung aufgezeigt und als die Bedeutung des Befruchtungsvorgangs eine Mischung der Qualität zweier Individuen.

Beleuchtungsarten. Die Beleuchtungsarten der Gegenwart. Von Dr. phil. Wilhelm Brüsch. Mit 155 Abbildungen im Text. (Nr. 108.)

Gibt einen Überblick über ein gewaltiges Arbeitsfeld deutscher Technik und Wissenschaft, indem die technischen und wissenschaftlichen Bedingungen für die Herstellung einer wirtschaftlichen Lichtquelle und die Methoden für die Beurteilung ihres wirklichen Wertes für den Verbraucher, die einzelnen Beleuchtungsarten sowohl hinsichtlich ihrer physikalischen und chemischen Grundlagen als auch ihrer Technik und Herstellung behandelt werden.

Bevölkerungslehre. Von Professor Dr. M. Haushofer. (Nr. 50.)

Will in gedrängter Form das Wesentliche der Bevölkerungslehre geben über Ermittlung der Volkszahl, über Gliederung und Bewegung der Bevölkerung, Verhältnis der Bevölkerung zum bewohnten Boden und die Ziele der Bevölkerungspolitik.

Bibel (s. a. Jesus; Religion). Der Text des Neuen Testaments nach seiner geschichtlichen Entwicklung. Von Div.-Pfarrer A. Pott. Mit 8 Tafeln. (Nr. 134.)

Will in die das allgemeine Interesse an der Textkritik bekundende Frage: „Ist der ursprüngliche Text des Neuen Testamentes überhaupt noch herzustellen?“ durch die Erörterung der Verschiedenheiten des Luthertextes (des früheren, revidierten und durchgesehenen) und seines Verhältnisses zum heutigen (deutschen) „berichtigten“ Text, einführen, den „ältesten Spuren des Textes“ nachgehen, eine „Einführung in die Handschriften“ wie die „ältesten Übersetzungen“ geben und in „Theorie und Praxis“ zeigen, wie der Text berichtigt und rekonstruiert wird.

Bildungswesen (s. a. Schulwesen). Das deutsche Bildungswesen in seiner geschichtlichen Entwickelung. Von Prof. Dr. Friedrich Paulsen. (Nr. 100.)

Auf beschränktem Raum löst der Verfasser die schwierige Aufgabe, indem er das Bildungswesen stets im Rahmen der allgemeinen Kulturbewegung darstellt, so daß die gesamte Kulturentwicklung unseres Volkes in der Darstellung seines Bildungswesens wie in einem verkleinerten Spiegelbild zur Erscheinung kommt. So wird aus dem Büchlein nicht nur für die Erkenntnis der Vergangenheit, sondern auch für die Forderungen der Zukunft reiche Frucht erwachsen.

Digitized by Google

Biologie s. Abstammungslehre; Ameisen; Befruchtungsvorgang; Leben; Meeresforschung; Pflanzen; Plankton; Tierleben.

Botanik s. Obstbau; Pflanzen; Wald.

Buchwesen s. Illustrationskunst; Schriftwesen.

Buddha. Leben und Lehre des Buddha. Von Professor Dr. Richard Pischel. Mit 1 Tafel. (Nr. 109.)
Gibt nach einer Übersicht über die Zustände Indiens zur Zeit des Buddha eine Darstellung des Lebens des Buddha, seiner Stellung zu Staat und Kirche, seiner Lehrweise, sowie seiner Lehre, seiner Ethik und der weiteren Entwicklung des Buddhismus.

Chemie (s. a. Haushalt; Metalle). Luft, Wasser, Licht und Wärme. Neun Vorträge aus dem Gebiete der Experimental-Chemie. Von Professor Dr. R. Blochmann. 2. Auflage. Mit zahlreichen Abb. im Text. (Nr. 5.)
Führt unter besonderer Berücksichtigung der alltäglichen Erscheinungen des praktischen Lebens in das Verständnis der chemischen Erscheinungen ein und zeigt die praktische Bedeutung desselben für unser Wohlergehen.

Christentum (s. a. Bibel; Jesus; Religion). Aus der Werdezeit des Christentums. Studien und Charakteristiken. Von Prof. Dr. J. Geffcken. (Nr. 54.)
Gibt durch eine Reihe von Bildern eine Vorstellung von der Stimmung im alten Christentum und von seiner inneren Kraft und verschafft so ein Verständnis für die ungeheure und vielseitige welthistorische kultur- und religionsgeschichtliche Bewegung.

Dampf und Dampfmaschine. Von Professor Dr. R. Vater. Mit 44 Abbildungen. (Nr. 63.)
Schildert die inneren Vorgänge im Dampfkessel und namentlich im Zylinder der Dampfmaschine, um so ein richtiges Verständnis des Wesens der Dampfmaschine und der in der Dampfmaschine sich abspielenden Vorgänge zu ermöglichen.

Darwinismus s. Abstammungslehre.

Deutschland s. Kolonien; Volksstämme; Wirtschaftsgeschichte.

Drama (s. a. Theater). Das deutsche Drama des neunzehnten Jahrhunderts. In seiner Entwicklung dargestellt von Professor Dr. G. Witkowski. 2. Auflage. Mit einem Bildnis Hebbels. (Nr. 51.)
Sucht in erster Linie auf historischem Wege das Verständnis des Dramas der Gegenwart anzubahnen und berücksichtigt die drei Faktoren, deren jeweilige Beschaffenheit die Gestaltung des Dramas bedingt: Kunstanschauung, Schauspielkunst und Publikum.

Dürer. Albrecht Dürer. Von Dr. Rudolf Wustmann. Mit 33 Abbildungen im Text. (Nr. 97.)
Eine schlichte und knappe Erzählung des gewaltigen menschlichen und künstlerischen Entwicklungsganges Albrecht Dürers und eine Darstellung seiner Kunst, in der nacheinander seine Selbst- und Angehörigenbildnisse, die Zeichnungen zur Apokalypse, die Darstellungen von Mann und Weib, das Marienleben, die Stiftungsgemälde, die Radierungen von Rittertum, Trauer und Heiligkeit sowie die wichtigsten Werke aus der Zeit der Reife behandelt werden.

Ehe und Eherecht. Von Professor Dr. Ludwig Wahrmund. (Nr. 115.)
Schildert in gedrängter Fassung die historische Entwicklung des Ehebegriffes von den orientalischen und klassischen Völkern an nach seiner natürlichen, sittlichen und rechtlichen Seite und untersucht das Verhältnis von Staat und Kirche auf dem Gebiete des Eherechtes, behandelt darüber hinaus aber auch alle jene Fragen über die rechtliche Stellung der Frau und besonders der Mutter, die immer lebhafter die öffentliche Meinung beschäftigen.

Digitized by Google

Eisenbahnen (s. a. Technik; Verkehrsentwicklung). Die Eisenbahnen, ihre Entstehung und gegenwärtige Verbreitung. Von Professor Dr. F. Hahn. Mit zahlreichen Abbildungen im Text und einer Doppeltafel. (Nr. 71.)

Nach einem Rückblick auf die frühesten Zeiten des Eisenbahnbaues führt der Verfasser die Eisenbahn im allgemeinen nach ihren Hauptmerkmalen vor. Der Bau des Bahnkörpers, der Tunnel, die großen Brückenbauten, sowie der Betrieb selbst werden besprochen, schließlich ein Überblick über die geographische Verbreitung der Eisenbahnen gegeben.

——— Die technische Entwicklung der Eisenbahnen der Gegenwart. Von Eisenbahnbau- und Betriebsinspektor E. Biedermann. Mit zahlreichen Abbildungen im Text. (Nr. 144.)

Nach einem geschichtlichen Überblick über die Entwicklung der Eisenbahnen werden die wichtigsten Gebiete der modernen Eisenbahntechnik behandelt, der Oberbau, Entwicklung und Umfang der Spurbahnnetze in den verschiedenen Ländern, die Geschichte des Lokomotivenwesens bis zur Ausbildung der Heißdampflokomotiven einerseits und des elektrischen Betriebes andererseits, sowie der Sicherung des Betriebes durch Stellwerks- und Blockanlagen.

Eisenhüttenwesen. Das Eisenhüttenwesen. Erläutert in acht Vorträgen von Geh. Bergrat Professor Dr. H. Wedding. 2. Auflage. Mit 12 Figuren im Text. (Nr. 20.)

Schildert in gemeinfaßlicher Weise, wie Eisen, das unentbehrlichste Metall, erzeugt und in seine Gebrauchsformen gebracht wird. Besonders wird der Hochofenprozeß nach seinen chemischen, physikalischen und geologischen Grundlagen geschildert, die Erzeugung der verschiedenen Eisenarten und die dabei in Betracht kommenden Prozesse erörtert.

Elektrotechnik (s. a. Funkentelegraphie). Grundlagen der Elektrotechnik. Von Dr. Rud. Blochmann. Mit zahlreichen Abb. im Text. (Nr. 168.)

Eine durch lehrreiche Abbildungen unterstützte Darstellung der elektrischen Erscheinungen, ihrer Grundgesetze und ihrer Beziehungen zum Magnetismus, sowie eine Einführung in das Verständnis der zahlreichen praktischen Anwendungen der Elektrizität in den Maschinen zur Krafterzeugung, wie in der elektrischen Beleuchtung und in der Chemie.

Entdeckungen (s. a. Polarforschung). Das Zeitalter der Entdeckungen. Von Professor Dr. S. Günther. 2. Auflage. Mit einer Weltkarte. (Nr. 26.)

Mit lebendiger Darstellungsweise sind hier die großen weltbewegenden Ereignisse der geographischen Renaissancezeit ansprechend geschildert, von der Begründung der portugiesischen Kolonialherrschaft und den Fahrten des Columbus an bis zu dem Hervortreten der französischen, britischen und holländischen Seefahrer.

Erde (s. a. Mensch und Erde; Wirtschaftsgeschichte). Aus der Vorzeit der Erde. Vorträge über allgemeine Geologie. Von Professor Dr. Fr. Frech. Mit 49 Abbildungen im Text und auf 5 Doppeltafeln. (Nr. 61.)

Erörtert die interessantesten und praktisch wichtigsten Probleme der Geologie: die Tätigkeit der Vulkane, das Klima der Vorzeit, Gebirgsbildung, Korallenriffe, Talbildung und Erosion, Wildbäche und Wildbachverbauung.

Erfindungswesen s. Gewerbe.

Ernährung (s. a. Alkoholismus; Haushalt; Kaffee; Säugling). Ernährung und Volksnahrungsmittel. Sechs Vorträge von weil. Professor Dr. Johannes Frentzel. Mit 6 Abbildungen im Text und 2 Tafeln. (Nr. 19.)

Gibt einen Überblick über die gesamte Ernährungslehre. Durch Erörterung der grundlegenden Begriffe werden die Zubereitung der Nahrung und der Verdauungsapparat besprochen und endlich die Herstellung der einzelnen Nahrungsmittel, insbesondere auch der Konserven behandelt.

Digitized by Google

Erziehung. (s. a. Jugendfürsorge; Knabenhandarbeit; Pädagogik). Moderne Erziehung in Haus und Schule. Vorträge in der Humboldt-Akademie zu Berlin. Von J. Tews. (Nr. 159.)

Betrachtet die Erziehung als Sache nicht eines einzelnen Berufes, sondern der gesamten gegenwärtigen Generation, zeichnet scharf die Schattenseiten der modernen Erziehung und zeigt Mittel und Wege für eine allseitige Durchdringung des Erziehungsproblems. In diesem Sinne werden die wichtigsten Erziehungsfragen behandelt: Die Familie und ihre pädagogischen Mängel, der Lebensmorgen des modernen Kindes, Bureaukratie und Schematismus, Persönlichkeitspädagogik, Zucht und Zuchtmittel, die religiöse Frage, gemeinsame Erziehung der Geschlechter, die Armen am Geiste, Erziehung der reiferen Jugend usw.

Farben s. Licht.

Frauenarbeit. Die Frauenarbeit, ein Problem des Kapitalismus. Von Privatdozent Dr. Robert Wilbrandt. (Nr. 106.)

Das Thema wird als ein brennendes Problem behandelt, das uns durch den Kapitalismus aufgegeben worden ist, und behandelt von dem Verhältnis von Beruf und Mutterschaft aus, als dem zentralen Problem der ganzen Frage, die Ursachen der niedrigen Bezahlung der weiblichen Arbeit, die daraus entstehenden Schwierigkeiten in der Konkurrenz der Frauen mit den Männern, den Gegensatz von Arbeiterinnenschutz und Befreiung der weiblichen Arbeit.

Frauenbewegung. Die moderne Frauenbewegung. Von Dr. Käthe Schirmacher. (Nr. 67.)

Gibt einen Überblick über die Haupttatsachen der modernen Frauenbewegung in allen Ländern und schildert eingehend die Bestrebungen der modernen Frau auf dem Gebiet der Bildung, der Arbeit, der Sittlichkeit, der Soziologie und Politik.

Frauenkrankheiten. Gesundheitslehre für Frauen. Von Privatdozent Dr. R. Stieher. Mit 13 Abbildungen im Text. (Nr. 171.)

Eine Gesundheitslehre für Frauen, die über die Anlage des weiblichen Organismus und seine Pflege unterrichtet, zeigt, wie diese bereits im Kindesalter beginnen muß, welche Bedeutung die allgemeine körperliche und geistige Hygiene insbesondere in der Zeit der Entwickelung hat, um sich dann eingehend mit dem Beruf der Frau als Gattin und Mutter zu beschäftigen.

Frauenleben. Deutsches Frauenleben im Wandel der Jahrhunderte. Von Direktor Dr. Ed. Otto. Mit 25 Abbildungen. (Nr. 45.)

Gibt ein Bild des deutschen Frauenlebens von der Urzeit bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts, von Denken und Fühlen, Stellung und Wirksamkeit der deutschen Frau, wie sie sich im Wandel der Jahrhunderte darstellen.

Friedensbewegung (s. a. Recht). Die moderne Friedensbewegung. Von Alfred H. Fried. (Nr. 157.)

Entwickelt das Wesen und die Ziele der Friedensbewegung, gibt dann eine Darstellung der Schiedsgerichtsbarkeit in ihrer Entwicklung und gegenwärtigem Umfang mit besonderer Berücksichtigung der hohen Bedeutung der Haager Friedenskonferenz, beschäftigt sich hierauf mit dem Abrüstungsproblem und gibt zum Schluß einen eingehenden Überblick über die Geschichte der Friedensbewegungen und eine chronologische Darstellung der für sie bedeutsamen Ereignisse.

Friedrich Fröbel. Sein Leben und sein Wirken. Von Adele von Portugall. (Nr. 82.)

Lehrt die grundlegenden Gedanken der Methode Fröbels kennen und gibt einen Überblick seiner wichtigsten Schriften mit Betonung aller jener Kernaussprüche, die treuen und oft ratlosen Müttern als Wegweiser in Ausübung ihres hehrsten und heiligsten Berufes dienen können.

Digitized by Google

Funkentelegraphie. Die Funkentelegraphie. Von Ober-Postpraktikant H. Thurn. Mit 50 Illustrationen. (Nr. 167.)

Nach einer Übersicht über die elektrischen Vorgänge bei der Funkentelegraphie und einer eingehenden Darstellung des Systems Telefunken werden die für die verschiedenen Anwendungsgebiete erforderlichen einzelnen Konstruktionstypen vorgeführt, (Schiffsstationen, Landstationen, Militärstationen und solche für den Eisenbahndienst), wobei nach dem neuesten Stand von Wissenschaft und Technik in jüngster Zeit ausgeführte Anlagen beschrieben werden. Danach wird der Einfluß der Funkentelegraphie auf Wirtschaftsverkehr und das Wirtschaftsleben (im Handels- und Kriegsseeverkehr, für den Heeresdienst, für den Wetterdienst usw.) sowie im Anschluß daran die Regelung der Funkentelegraphie im deutschen und internationalen Verkehr erörtert.

Fürsorgewesen s. Jugendfürsorge.

Fürstentum. Deutsches Fürstentum und deutsches Verfassungswesen. Von Professor Dr. E. Hubrich. (Nr. 80.)

Der Verfasser zeigt in großen Umrissen den Weg, auf dem deutsches Fürstentum und deutsche Volksfreiheit zu dem in der Gegenwart geltenden wechselseitigen Ausgleich gelangt sind, unter besonderer Berücksichtigung der preußischen Verfassungsverhältnisse. Nach kürzerer Beleuchtung der älteren Verfassungspartie schildert der Verfasser die Begründung des fürstlichen Absolutismus und demgegenüber das Erwachen, Fortschreiten und Siegen des modernen Konstitutionalismus.

Gasmaschinen s. Wärmekraftmaschinen.

Geisteskrankheiten. Von Anstaltsoberarzt Dr. Georg Ilberg. (Nr. 151.)

Erörtert das Wesen der Geisteskrankheiten und an eingehend zur Darstellung gelangenden Beispielen die wichtigsten Formen geistiger Erkrankung, um so ihre Kenntnis zu fördern, die richtige Beurteilung der Zeichen geistiger Erkrankung und damit eine rechtzeitige verständnisvolle Behandlung derselben zu ermöglichen.

Geographie s. Entdeckungen; Japan; Kolonien; Mensch; Palästina; Polarforschung; Städte; Volksstämme; Wirtschaftsleben.

Geologie s. Erde.

Germanen. Germanische Kultur in der Urzeit. Von Dr. G. Steinhausen. Mit 17 Abbildungen. (Nr. 75.)

Das Büchlein beruht auf eingehender Quellenforschung und gibt in fesselnder Darstellung einen Überblick über germanisches Leben von der Urzeit bis zur Berührung der Germanen mit der römischen Kultur.

——— Germanische Mythologie. Von Dr. Julius von Negelein. (Nr. 95.)

Der Verfasser gibt ein Bild germanischen Glaubenslebens, indem er die Äußerungen religiösen Lebens namentlich auch im Kultus und in den Gebräuchen des Aberglaubens aufsucht, sich überall bestrebt, das zugrunde liegende psychologische Motiv zu entdecken, die verwirrende Fülle mythischer Tatsachen und einzelner Namen aber demgegenüber zurücktreten läßt.

Geschichte (s. a. Amerika; Bildungswesen; Entdeckungen; Frauenleben; Fürstentum; Germanen; Japan; Jesuiten; Ingenieurtechnik; Kalender; Kriegswesen; Kultur; Kunstgeschichte; Literaturgeschichte; Luther; Münze; Musik; Palästina; Pompeji; Rom; Schulwesen; Städtewesen; Volksstämme; Welthandel; Wirtschaftsgeschichte).

Digitized by Google

Geschichte. Politische Hauptströmungen in Europa im 19. Jahrhundert. Von Professor Dr. K. Th. Heigel. (Nr. 129.)

Bietet eine knappe Darstellung der wichtigsten politischen Ereignisse vom Ausbruche der französischen Revolution bis zum Ausgang des 19. Jahrhunderts, womit eine Schilderung der politischen Ideen Hand in Hand geht und wobei überall Ursache und Folge, d. h. der innere Zusammenhang der einzelnen Vorgänge, dargelegt, auch Sinnesart und Taten wenigstens der einflußreichsten Persönlichkeiten gewürdigt werden.

——— Von Luther zu Bismarck. 12 Charakterbilder aus deutscher Geschichte. Von Professor Dr. Ottokar Weber. 2 Bändchen. (Nr. 123. 124.)

Ein knappes und doch eindrucksvolles Bild der nationalen und kulturellen Entwickelung der Neuzeit, das aus den vier Jahrhunderten je drei Persönlichkeiten herausgreift, die bestimmend eingegriffen haben in den Werdegang deutscher Geschichte. Der große Reformator, Regenten großer und kleiner Staaten, Generale, Diplomaten kommen zu Wort. Was Martin Luther einst geträumt: ein nationales deutsches Kaiserreich, unter Bismarck steht es begründet da.

——— 1848. Sechs Vorträge von Professor Dr. Ottokar Weber. (Nr. 53.)

Bringt auf Grund des überreichen Materials in knapper Form eine Darstellung der wichtigen Ereignisse des Jahres 1848, dieser nahezu über ganz Europa verbreiteten großen Bewegung in ihrer bis zur Gegenwart reichenden Wirkung.

——— Restauration und Revolution. Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Einheit. Von Professor Dr. Richard Schwemer. (Nr. 37.)

——— Die Reaktion und die neue Ära. Skizzen zur Entwickelungsgeschichte der Gegenwart. Von Professor Dr. Richard Schwemer. (Nr. 101.)

——— Vom Bund zum Reich. Neue Skizzen zur Entwickelungsgeschichte der deutschen Einheit. Von Professor Dr. Richard Schwemer. (Nr. 102.)

Die 3 Bändchen geben zusammen eine in Auffassung und Darstellung durchaus eigenartige Geschichte des deutschen Volkes im 19. Jahrhundert. „Restauration und Revolution" behandelt das Leben und Streben des deutschen Volkes in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, von dem ersten Aufleuchten des Gedankens des nationalen Staates bis zu dem tragischen Sturze in der Mitte des Jahrhunderts. „Die Reaktion und die neue Ära", beginnend mit der Zeit der Ermattung nach dem großen Aufschwung von 1848, stellt in den Mittelpunkt des Prinzen von Preußen und Otto von Bismarcks Schaffen. „Vom Bund zum Reich" zeigt uns Bismarck mit sicherer Hand die Grundlage des Reiches vorbereitend und dann immer entschiedener allem Geschehenen das Gepräge seines Geistes verleihend.

Gesundheitslehre (s. a. Alkoholismus; Ernährung; Frauenkrankheiten; Geisteskrankheiten; Haushalt; Heilwissenschaft; Krankenpflege; Leibesübungen; Mensch; Nervensystem; Säugling; Schulhygiene; Stimme; Tuberkulose). Acht Vorträge aus der Gesundheitslehre. Von Professor Dr. H. Buchner. 2. Auflage, besorgt von Professor Dr. M. Gruber. Mit zahlreichen Abbildungen im Text. (Nr. 1.)

In klarer und überaus fesselnder Darstellung unterrichtet der Verfasser über die äußeren Lebensbedingungen des Menschen, über das Verhältnis von Luft, Licht und Wärme zum menschlichen Körper, über Kleidung und Wohnung, Bodenverhältnisse und Wasserversorgung, die Krankheiten erzeugenden Pilze und die Infektionskrankheiten, kurz über wichtige Fragen der Hygiene.

Gewerbe. Der gewerbliche Rechtsschutz in Deutschland. Von Patentanwalt B. Tolksdorf. (Nr. 138.)

Nach einem allgemeinen Überblick über Entstehung und Entwicklung des gewerblichen Rechtsschutzes und einer Bestimmung der Begriffe Patent und Erfindung wird zunächst das deutsche

Digitized by Google

Patentrecht behandelt, wobei der Gegenstand des Patentes, der Patentberechtigte, das Verfahren in Patentsachen, die Rechte und Pflichten des Patentinhabers, das Erlöschen des Patentrechtes und die Verletzung und Anmaßung des Patentschutzes erörtert werden. Sodann wird das Muster- und Warenzeichenrecht dargestellt und dabei besonders Art und Gegenstand der Muster, ihre Nachbildung, Eintragung, Schutzdauer und Löschung klargelegt. Ein weiterer Abschnitt befaßt sich mit den internationalen Verträgen und dem Ausstellungsschutz. Zum Schlusse wird noch die Stellung der Patentanwälte besprochen.

Handfertigkeit s. Knabenhandarbeit.

Handwerk. Das deutsche Handwerk in seiner kulturgeschichtlichen Entwicklung. Von Direktor Dr. Ed. Otto. 2. Aufl. Mit 27 Abb. auf 8 Tafeln. (Nr. 14.)

Eine Darstellung der Entwicklung des deutschen Handwerks bis in die neueste Zeit, der großen Umwälzung aller wirtschaftlichen Verhältnisse im Zeitalter der Eisenbahnen und Dampfmaschinen und der Handwerkerbewegungen des 19. Jahrhunderts, wie des älteren Handwerkslebens, seiner Sitten, Bräuche und Dichtung.

Haus (s. a. Kunst). Das deutsche Haus und sein Hausrat. Von Professor Dr. Rudolf Meringer. Mit 106 Abbildungen, darunter 85 von Professor A. von Schroetter. (Nr. 116.)

Das Buch will das Interesse an dem deutschen Haus, wie es geworden ist, fördern; mit zahlreichen künstlerischen Illustrationen ausgestattet, behandelt es nach dem „Herdhaus" das oberdeutsche Haus, führt dann anschaulich die Einrichtung der für dieses charakteristischen Stube, den Ofen, den Tisch, das Eßgerät vor und gibt einen Überblick über die Herkunft von Haus und Hausrat.

——— Kulturgeschichte des deutschen Bauernhauses. Von Regierungsbaumeister a. D. Chr. Ranck. Mit 70 Abbildungen. (Nr. 121.)

Der Verfasser führt den Leser in das Haus des germanischen Landwirtes und zeigt dessen Entwicklung, wendet sich dann dem Hause der skandinavischen Bauern zu, um hieraus die Entwicklung des deutschen Bauernhauses während des Mittelalters darzustellen und mit einer Schilderung der heutigen Form des deutschen Bauernhauses zu schließen.

Haushalt (s. a. Kaffee). Die Naturwissenschaften im Haushalt. Von Dr. J. Bongardt. 2 Bändchen. (Nr. 125. 126.)

I. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für die Gesundheit der Familie? Mit 31 Abbildungen.
II. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für gute Nahrung? Mit 17 Abbildungen.

Selbst gebildete Hausfrauen können sich Fragen nicht beantworten wie die, weshalb sie z. B. kondensierte Milch auch in der heißen Zeit in offenen Gefäßen aufbewahren können, weshalb sie hartem Wasser Soda zusetzen, weshalb Obst im kupfernen Kessel nicht erkalten soll. Da soll hier an der Hand einfacher Beispiele, unterstützt durch Experimente und Abbildungen, das naturwissenschaftliche Denken der Leserinnen so geschult werden, daß sie befähigt werden, auch solche Fragen selbst zu beantworten, die das Buch unberücksichtigt läßt.

——— Chemie in Küche und Haus. Von Professor Dr. G. Abel. Mit Abbildungen im Text und einer mehrfarbigen Doppeltafel. (Nr. 76.)

Das Bändchen will Gelegenheit bieten, die in Küche und Haus täglich sich vollziehenden chemischen und physikalischen Prozesse richtig zu beobachten und nutzbringend zu verwerten. So wird Heizung und Beleuchtung, vor allem aber die Ernährung erörtert, werden tierische und pflanzliche Nahrungsmittel, Genußmittel und Getränke behandelt.

Haydn s. Musik.

Digitized by Google

Heilwissenschaft (s. a. Auge; Geisteskrankheiten; Gesundheitslehre; Krankenpflege; Säugling). Die moderne Heilwissenschaft. Wesen u. Grenzen des ärztlichen Wissens. Von Dr. E. Biernacki. Deutsch von Badearzt Dr. S. Ebel. (Nr. 25.)

Will in den Inhalt des ärztlichen Wissens und Könnens von einem allgemeineren Standpunkte aus einführen, indem die geschichtliche Entwicklung der medizinischen Grundbegriffe, die Leistungsfähigkeit und die Fortschritte der modernen Heilkunst, die Beziehungen zwischen der Diagnose und der Behandlung der Krankheit, sowie die Grenzen der modernen Diagnostik behandelt werden.

——— Der Aberglaube in der Medizin und seine Gefahr für Gesundheit und Leben. Von Professor Dr. V. von Hansemann. (Nr. 83.)

Behandelt alle menschlichen Verhältnisse, die in irgend einer Beziehung zu Leben und Gesundheit stehen, besonders mit Rücksicht auf viele schädliche Aberglauben, die geeignet sind, Krankheiten zu fördern, die Gesundheit herabzusetzen und auch in moralischer Beziehung zu schädigen.

Herbarts Lehren und Leben. Von Pastor O. Flügel. (Nr. 164.)

Herbarts Lehre zu kennen, ist für den Philosophen wie für den Pädagogen gleich wichtig. Aber seine eigenartige Terminologie und Deduktionsweise erschwert das Einleben in seine Gedankengebilde. Flügel übernimmt es mit musterhaftem Geschick, der Interpret des Meisters zu sein, dessen Werdegang zu prüfen, seine Philosophie und Pädagogik gemeinverständlich darzustellen.

Hilfsschulwesen (s. a. Geisteskrankheiten; Jugendfürsorge). Vom Hilfsschulwesen. Von Rektor Dr. B. Maennel. (Nr. 73.)

Es wird in kurzen Zügen eine Theorie und Praxis der Hilfsschulpädagogik gegeben. An Hand der vorhandenen Literatur und auf Grund von Erfahrungen wird nicht allein zusammengestellt, was bereits geleistet worden ist, sondern auch hervorgehoben, was noch der Entwicklung und Bearbeitung harrt.

Japan (s. a. Kunst). Die Japaner und ihre wirtschaftliche Entwicklung. Von Professor Dr. K. Rathgen. (Nr. 72.)

Vermag auf Grund eigener langjähriger Erfahrung ein wirkliches Verständnis der merkwürdigen und für uns wirtschaftlich so wichtigen Erscheinung der fabelhaften Entwicklung Japans zu eröffnen.

Jesuiten. Die Jesuiten. Eine historische Skizze von Professor Dr. H. Boehmer. (Nr. 49.)

Ein Büchlein nicht für oder gegen, sondern über die Jesuiten, also der Versuch einer gerechten Würdigung des vielgenannten Ordens, das nicht nur von der sogenannten Jesuitenmoral oder von der Ordensverfassung, sondern auch von der Jesuitenschule, von den Leistungen des Ordens auf dem Gebiete der geistigen Kultur, von dem Jesuitenstaate usw. handelt.

Jesus (s. a. Bibel; Christentum; Religion). Die Gleichnisse Jesu. Zugleich Anleitung zu einem quellenmäßigen Verständnis der Evangelien. Von Lic. Professor Dr. H. Weinel. 2. Auflage. (Nr. 46.)

Will gegenüber kirchlicher und nichtkirchlicher Allegorisierung der Gleichnisse Jesu mit ihrer richtigen, wörtlichen Auffassung bekannt machen und verbindet damit eine Einführung in die Arbeit der modernen Theologie.

——— Jesus und seine Zeitgenossen. Von Pastor K. Bonhoff. (Nr. 89.)

Die ganze Herbheit und köstliche Frische des Volkskindes, die hinreißende Hochherzigkeit und prophetische Überlegenheit des genialen Volksmannes, die reife Weisheit des Jüngerbildners und die religiöse Tiefe und Weite des Evangeliumverkünders von Nazareth wird erst empfunden, wenn man ihn in seinem Verkehr mit den ihn umgebenden Menschengestalten, Volks- und Parteigruppen zu verstehen sucht, wie es dieses Büchlein tun will.

Digitized by Google

Jesus. Wahrheit und Dichtung im Leben Jesu. Von Pfarrer Dr. Paul Mehlhorn. (Nr. 137.)

Will zeigen, was von dem im Neuen Testament uns überlieferten Leben Jesu als wirklicher Tatbestand festzuhalten, was als Sage oder Dichtung zu betrachten ist, durch Darlegung der Grundsätze, nach denen die Scheidung des geschichtlich Glaubwürdigen und der es umrankenden Phantasiegebilde vorzunehmen ist und durch Vollziehung der so gekennzeichneten Art chemischer Analyse an den wichtigsten Stoffen des „Lebens Jesu".

Illustrationskunst. Die deutsche Illustration. Von Professor Dr. Rudolf Kautzsch. Mit 35 Abbildungen. (Nr. 44.)

Behandelt ein besonders wichtiges und besonders lehrreiches Gebiet der Kunst und leistet zugleich, indem es an der Hand der Geschichte das Charakteristische der Illustration als Kunst zu erforschen sucht, ein gut Stück „Kunsterziehung".

Ingenieurtechnik. Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit. Von Baurat Kurt Merckel. 2. Auflage. Mit 55 Abbildungen im Text und auf Tafeln. (Nr. 28.)

Führt eine Reihe hervorragender und interessanter Ingenieurbauten nach ihrer technischen und wirtschaftlichen Bedeutung vor: die Gebirgsbahnen, die Bergbahnen, und als deren Vorläufer die bedeutenden Gebirgsstraßen der Schweiz und Tirols, die großen Eisenbahnverbindungen in Asien, endlich die modernen Kanal- und Hafenbauten.

——— Bilder aus der Ingenieurtechnik. Von Baurat Kurt Merckel. Mit 43 Abbildungen im Text und auf einer Doppeltafel. (Nr. 60.)

Zeigt in einer Schilderung der Ingenieurbauten der Babylonier und Assyrer, der Ingenieurtechnik der alten Ägypter unter vergleichsweiser Behandlung der modernen Irrigationsanlagen daselbst, der Schöpfungen der antiken griechischen Ingenieure, des Städtebaues im Altertum und der römischen Wasserleitungsbauten die hohen Leistungen der Völker des Altertums.

Israel s. Religion.

Jugend-Fürsorge. Von Direktor Dr. Joh. Petersen. 2 Bände. (Nr. 161. 162.)

Band I: Die öffentliche Fürsorge für die hilfsbedürftige Jugend.
Band II: Die öffentliche Fürsorge für die sittlich gefährdete und die gewerblich tätige Jugend.

Erörtert alle das Fürsorgewesen betreffenden Fragen, deckt die ihm anhaftenden Mängel auf, zeigt zugleich aber auch die Mittel und Wege zu ihrer Beseitigung. Besonders eingehend werden behandelt in dem 1. Bändchen das Vormundschaftsrecht, die Säuglingssterblichkeit, die Fürsorge für uneheliche Kinder, die Gemeindewaisenpflege, die Vor- und Nachteile der Anstalts- und Familienpflege, in dem 2. Bändchen die gewerbliche Ausnutzung der Kinder und der Kinderschutz im Gewerbe, die Kriminalität der Jugend und die Zwangserziehung, die Fürsorge für die schulentlassene Jugend.

Kaffee, Tee, Kakao und die übrigen narkotischen Aufgußgetränke (s. a. Ernährung; Haushalt). Von Professor Dr. A. Wieler. Mit 24 Abbildungen und 1 Karte. (Nr. 132.)

Behandelt, durch zweckentsprechende Abbildungen unterstützt, Kaffee, Tee und Kakao eingehender, Mate und Kola kürzer, in bezug auf die botanische Abstammung, die natürliche Verbreitung der Stammpflanzen, die Verbreitung ihrer Kultur, die Wachstumsbedingungen und die Kulturmethoden, die Erntezeit und die Ernte, endlich die Gewinnung der fertigen Ware, wie der Weltmarkt sie aufnimmt, aus dem geernteten Produkte.

Kakao s. Kaffee.

Digitized by Google

Kalender. Der Kalender. Von Professor Dr. W. F. Wislicenus. (Nr. 69.)
Erklärt die astronomischen Erscheinungen, die für unsere Zeitrechnung von Bedeutung sind, und schildert die historische Entwicklung des Kalenderwesens vom römischen Kalender ausgehend, den Werdegang der christlichen Kalender bis auf die neueste Zeit verfolgend, setzt ihre Einrichtungen auseinander und lehrt die Berechnung kalendarischer Angaben für Vergangenheit und Zukunft, sie durch zahlreiche Beispiele erläuternd.

Kant (s. a. Philosophie). Immanuel Kant; Darstellung und Würdigung. Von Professor Dr. O. Külpe. Mit einem Bildnisse Kants. (Nr. 146.)
Kant hat durch seine grundlegenden Werke ein neues Fundament für die Philosophie aller Völker und Zeiten geschaffen. Dieses in seiner Tragfähigkeit für moderne Ideen darzustellen, hat sich der Verfasser zur Aufgabe gestellt. Es ist ihm gelungen, den wirklichen Kant mit historischer Treue zu schildern und doch auch zu beleuchten, wie die Nachwelt berufen ist, hinauszustreben über die Anschauungen des gewaltigen Denkers, da auch er ein Kind seiner Zeit ist und manche seiner Lehrmeinungen vergänglicher Art sein müssen.

Kinderpflege s. Säugling.

Knabenhandarbeit. Die Knabenhandarbeit in der heutigen Erziehung. Von Seminardirektor Dr. Alw. Pabst. Mit 21 Abbildungen im Text und 1 Titelbild. (Nr. 140.)
Gibt einen Überblick über die Geschichte des Knabenhandarbeitsunterrichts, untersucht seine Stellung im Lichte der modernen pädagogischen Strömungen und erhärtet seinen Wert als Erziehungsmittel, erörtert sodann die Art des Betriebes in den verschiedenen Schulen und gibt zum Schlusse eine vergleichende Darstellung der Systeme in den verschiedenen Ländern.

Kolonien. Die deutschen Kolonien. Land und Leute. Von Dr. Adolf Heilborn. Mit zahlreichen Abbildungen und 2 Karten. (Nr. 98.)
Bringt auf engem Raume eine durch Abbildungen und Karten unterstützte, wissenschaftlich genaue Schilderung der deutschen Kolonien, sowie eine einwandfreie Darstellung ihrer Völker nach Nahrung und Kleidung, Haus und Gemeindeleben, Sitte und Recht, Glaube und Aberglaube, Arbeit und Vergnügen, Gewerbe und Handel, Waffen und Kampfesweise.

Kraftfahrzeuge s. Automobil.

Krankenpflege. Vorträge gehalten von Chefarzt Dr. B. Leick. (Nr. 152.)
Gibt zunächst einen Überblick über Bau und Funktion der inneren Organe des Körpers und deren hauptsächlichste Erkrankungen und erörtert dann die hiebei zu ergreifenden Maßnahmen. Besonders eingehend wird die Krankenpflege bei Infektionskrankheiten sowie bei plötzlichen Unglücksfällen und Erkrankungen behandelt.

Kriegswesen. Vom Kriegswesen im 19. Jahrhundert. Zwanglose Skizzen von Major O. von Sothen. Mit 9 Übersichtskärtchen. (Nr. 59.)
In einzelnen Abschnitten wird insbesondere die Napoleonische und Moltkesche Kriegführung an Beispielen (Jena-Königgrätz-Sedan) dargestellt und durch Kartenskizzen erläutert. Damit verbunden sind kurze Schilderungen der preußischen Armee von 1806 und nach den Befreiungskriegen, sowie nach der Reorganisation von 1860, endlich des deutschen Heeres von 1870 bis zur Jetztzeit.

——— Der Seekrieg. Seine geschichtliche Entwicklung vom Zeitalter der Entdeckungen bis zur Gegenwart. Von Kurt Freiherr von Maltzahn, Vize-Admiral a. D. (Nr. 99.)
Der Vers. bringt den Seekrieg als Kriegsmittel wie als Mittel der Politik zur Darstellung, indem er zunächst die Entwicklung der Kriegsflotte und der Seekriegsmittel schildert und dann die heutigen Weltwirtschaftsstaaten und den Seekrieg behandelt, wobei er besonders das Abhängigkeitsverhältnis, in dem unsere Weltwirtschaftsstaaten kommerziell und politisch zu den Verkehrswegen der See stehen, darstellt.

Digitized by Google

Kultur (s. a. Germanen; Geschichte; griech. Städtebilder). Die Anfänge der menschlichen Kultur. Von Professor Dr. Ludwig Stein. (Nr. 93.)
Behandelt in der Überzeugung, daß die Kulturprobleme der Gegenwart sich uns nur durch einen tieferen Einblick in ihren Werdegang erschließen, Natur und Kultur, den vorgeschichtlichen Menschen, die Anfänge der Arbeitsteilung, die Anfänge der Rassenbildung, ferner die Anfänge der wirtschaftlichen, intellektuellen, moralischen und sozialen Kultur.

Kunst (s. a. Baukunst; Dürer; Städtebilder; Illustrationskunst; Rembrandt; Schriftwesen). Bau und Leben der bildenden Kunst. Von Direktor Dr. Theodor Volbehr. Mit 44 Abbildungen. (Nr. 68.)
Führt von einem neuen Standpunkte aus in das Verständnis des Wesens der bildenden Kunst ein, erörtert die Grundlagen der menschlichen Gestaltungskraft und zeigt, wie das künstlerische Interesse sich allmählich weitere und immer weitere Stoffgebiete erobert.

——— Kunstpflege in Haus und Heimat. Von Superintendent R. Bürkner. Mit 14 Abbildungen. (Nr. 77.)
Will, ausgehend von der Überzeugung, daß zu einem vollen Menschensein und Volkstum die Pflege des Schönen unabweisbar gehört, die Augen zum rechten Sehen öffnen lehren und die ganze Lebensführung, Kleidung und Häuslichkeit ästhetisch gestalten, um so auch zur Erkenntnis dessen zu führen, was an Heimatkunst und Heimatschutz zu hegen ist, und auf diesem großen Gebiete persönlichen und allgemeinen ästhetischen Lebens ein praktischer Ratgeber sein.

——— Die ostasiatische Kunst und ihre Einwirkung auf Europa. Von Direktor Dr. R. Graul. Mit 49 Abb. im Text und auf 1 Doppeltafel. (Nr. 87.)
Bringt die bedeutungsvolle Einwirkung der japanischen und chinesischen Kunst auf die europäische zur Darstellung unter Mitteilung eines reichen Bildermaterials, den Einfluß Chinas auf die Entwicklung der zum Rokoko drängenden freien Richtungen in der dekorativen Kunst des 18. Jahrhunderts wie den auf die Entwicklung des 19. Jahrhunderts. Der Verfasser weist auf die Beziehungen der Malerei und Farbendruckkunst Japans zum Impressionismus der modernen europäischen Kunst hin.

Leben. Die Erscheinungen des Lebens. Grundprobleme der modernen Biologie. Von Privatdozent Dr. H. Miehe. Mit 46 Figuren im Text. (Nr. 130.)
Versucht eine umfassende Totalansicht des organischen Lebens zu geben, indem nach einer Erörterung der spekulativen Vorstellungen über das Leben und einer Beschreibung des Protoplasmas und der Zelle die hauptsächlichsten Aeußerungen des Lebens behandelt werden, als Entwicklung, Ernährung, Atmung, das Sinnesleben, die Fortpflanzung, der Tod, die Variabilität und im Anschluß daran die Theorien über Entstehung und Entwicklung der Lebewelt, sowie die mannigfachen Beziehungen der Lebewesen untereinander.

Leibesübungen. Die Leibesübungen und ihre Bedeutung für die Gesundheit. Von Professor Dr. K. Zander. 2. Auflage. Mit 19 Abb. (Nr. 13.)
Will darüber aufklären, weshalb und unter welchen Umständen die Leibesübungen segensreich wirken, indem es ihr Wesen, andererseits die in Betracht kommenden Organe bespricht; erörtert besonders die Wechselbeziehungen zwischen körperlicher und geistiger Arbeit, die Leibesübungen der Frauen, die Bedeutung des Sportes und die Gefahren der sportlichen Übertreibungen.

Licht (s. a. Beleuchtungsarten; Chemie). Das Licht und die Farben. Sechs Vorlesungen, gehalten im Volkshochschulverein München. Von Professor Dr. L. Graetz. 2. Auflage. Mit 116 Abbildungen. (Nr. 17.)
Führt, von den einfachsten optischen Erscheinungen ausgehend, zur tieferen Einsicht in die Natur des Lichtes und der Farben, behandelt, ausgehend von der scheinbar geradlinigen Ausbreitung, Zurückwerfung und Brechung des Lichtes, das Wesen der Farben, die Beugungserscheinungen und die Photographie.

Literaturgeschichte s. Drama; Schiller; Theater; Volkslied.

Digitized by Google

Luther (s. a. Geschichte). Luther im Lichte der neueren Forschung. Ein kritischer Bericht. Von Professor Dr. H. Boehmer. (Nr. 113.)
Versucht durch sorgfältige historische Untersuchung eine erschöpfende Darstellung von Luthers Leben und Wirken zu geben, die Persönlichkeit des Reformators aus ihrer Zeit heraus zu erfassen, ihre Schwächen und Stärken beleuchtend zu einem wahrheitsgetreuen Bilde zu gelangen, und gibt so nicht nur ein psychologisches Porträt, sondern bietet zugleich ein interessantes Stück Kulturgeschichte.

Mädchenschule (s. a. Bildungswesen; Schulwesen). Die höhere Mädchenschule in Deutschland. Von Oberlehrerin M. Martin. (Nr. 65.)
Bietet aus berufenster Feder eine Darstellung der Ziele, der historischen Entwicklung, der heutigen Gestalt und der Zukunftsaufgaben der höheren Mädchenschulen.

Mathematische Spiele (s. a. Arithmetik). Von Dr. W. Ahrens. (Nr. 170.)
Sucht in das Verständnis all der Spiele, die „ungleich voll von Nachdenken" vergnügen, weil man bei ihnen rechnet, ohne Voraussetzung irgend welcher mathematischer Kenntnisse einzuführen und so ihren Reiz für Nachdenkliche erheblich zu erhöhen. So werden unter Beigabe von einfachen, das Mitarbeiten des Lesers belebenden Fragen Wettspringen, Box-Puzzle, Solitär- oder Einsiedlerspiel, Wanderungsspiele, Dyadische Spiele, der Baguenaudier, Mim, der Rösselsprung und die Magischen Quadrate behandelt.

Meeresforschung. Meeresforschung und Meeresleben. Von Dr. O. Janson. 2. Auflage. Mit 41 Figuren. (Nr. 30.)
Schildert kurz und lebendig die Fortschritte der modernen Meeresuntersuchung auf geographischem, physikalisch-chemischem und biologischem Gebiete, die Verteilung von Wasser und Land auf der Erde, die Tiefen des Meeres, die physikalischen und chemischen Verhältnisse des Meerwassers, endlich die wichtigsten Organismen des Meeres, die Pflanzen und Tiere.

Mensch (s. a. Auge; Kultur; Stimme). Der Mensch. Sechs Vorlesungen a. d. Gebiete der Anthropologie. Von Dr. A. Heilborn. Mit zahlr. Abb. (Nr. 62.)
Stellt die Lehren der „Wissenschaft aller Wissenschaften" streng sachlich und doch durchaus volkstümlich dar: das Wissen vom Ursprung des Menschen, die Entwicklungsgeschichte des Individuums, die künstlerische Betrachtung der Proportionen des menschlichen Körpers und die streng wissenschaftlichen Meßmethoden (Schädelmessung usf.), behandelt ferner die Menschenrassen, die rassenanatomischen Verschiedenheiten, den Tertiärmenschen.

——— Bau und Tätigkeit des menschlichen Körpers. Von Privatdozent Dr. H. Sachs. 2. Auflage. Mit 37 Abbildungen. (Nr. 32.)
Stellt eine Reihe schematischer Abbildungen dar, erläutert die Einrichtung und die Tätigkeit der einzelnen Organe des Körpers und zeigt dabei vor allem, wie diese einzelnen Organe in ihrer Tätigkeit aufeinander einwirken, miteinander zusammenhängen und so den menschlichen Körper zu einem einheitlichen Ganzen, zu einem wohlgeordneten Staate machen.

——— Die Seele des Menschen. Von Prof. Dr. J. Rehmke. 2. Aufl. (Nr. 36.)
Behandelt, von der Tatsache ausgehend, daß der Mensch eine Seele habe, die ebenso gewiß sei wie die andere, daß der Körper eine Gestalt habe, das Seelenwesen und das Seelenleben und erörtert, unter Abwehr der materialistischen und halbmaterialistischen Anschauungen, von dem Standpunkt aus, daß die Seele Unkörperliches Immaterielles sei, nicht etwa eine Bestimmtheit des menschlichen Einzelwesens, auch nicht eine Wirkung oder eine „Funktion" des Gehirns, die verschiedenen Tätigkeitsäußerungen des als Seele Erkannten.

——— Die fünf Sinne des Menschen. Von Professor Dr. Jos. Clem. Kreibig. Mit 30 Abbildungen im Text. 2. Auflage. (Nr. 27.)
Beantwortet die Fragen über die Bedeutung, Anzahl, Benennung und Leistungen der Sinne in gemeinfaßlicher Weise, indem das Organ und seine Funktionsweise, dann die als Reiz wirkenden äußeren Ursachen und zuletzt der Inhalt, die Stärke, das räumliche und zeitliche Merkmal der Empfindungen besprochen werden.

Digitized by Google

Mensch und Erde. Mensch und Erde. Skizzen von den Wechselbeziehungen zwischen beiden. Von Prof. Dr. A. Kirchhoff. 2. Aufl. (Nr. 31.)
Zeigt, wie die Ländernatur auf den Menschen und seine Kultur einwirkt, durch Schilderungen allgemeiner und besonderer Art, über Steppen- und Wüstenvölker, über die Entstehung von Nationen, wie Deutschland und China u. a. m.

——— und Tier. Der Kampf zwischen Mensch und Tier. Von Professor Dr. Karl Eckstein. Mit 31 Abbildungen im Text. (Nr. 18.)
Der hohe wirtschaftliche Bedeutung beanspruchende Kampf erfährt eine eingehende, ebenso interessante wie lehrreiche Darstellung; besonders werden die Kampfmittel beider Gegner geschildert: Schußwaffen, Fallen, Gifte, oder auch besondere Wirtschaftsmethoden, dort spitzige Kralle, scharfer Zahn, furchtbares Gift, List und Gewandtheit, der Schutzfärbung und Anpassungsfähigkeit nicht zu vergessen.

Menschenleben. Aufgaben und Ziele des Menschenlebens. Von Dr. J. Unold. 2. Auflage. (Nr. 12.)
Beantwortet die Frage: Gibt es keine bindenden Regeln des menschlichen Handelns? in zuversichtlich bejahender, zugleich wohl begründeter Weise und entwirft die Grundzüge einer wissenschaftlich haltbaren und für eine nationale Erziehung brauchbaren Lebensanschauung und Lebensordnung.

Metalle. Die Metalle. Von Professor Dr. K. Scheid. Mit 16 Abb. (Nr. 29.)
Behandelt die für Kulturleben und Industrie wichtigen Metalle, schildert die mutmaßliche Bildung der Erze, die Gewinnung der Metalle aus den Erzen, das Hüttenwesen mit seinen verschiedenen Systemen, die Fundorte der Metalle, ihre Eigenschaften und Verwendung, unter Angabe historischer, kulturgeschichtlicher und statistischer Daten, sowie die Verarbeitung der Metalle.

Meteorologie s. Wetter.

Mikroskop (s. a. Optik; Tierwelt). Das Mikroskop, seine Optik, Geschichte und Anwendung, gemeinverständlich dargestellt. Von Dr. W. Scheffer. Mit 66 Abbildungen im Text und einer Tafel. (Nr. 35.)
Nach Erläuterung der optischen Konstruktion und Wirkung des Mikroskops, und Darstellung der historischen Entwicklung wird eine Beschreibung der modernsten Mikroskoptypen, Hilfsapparate und Instrumente gegeben, endlich gezeigt, wie die mikroskopische Untersuchung die Einsicht in Naturvorgänge vertieft.

Moleküle. Moleküle — Atome — Weltäther. Von Professor Dr. G. Mie. 2. Auflage. Mit 27 Figuren im Text. (Nr. 58.)
Stellt die physikalische Atomlehre als die kurze, logische Zusammenfassung einer großen Menge physikalischer Tatsachen unter einem Begriffe dar, die ausführlich und nach Möglichkeit als einzelne Experimente geschildert werden.

Mond (s. a. Weltall). Der Mond. Von Professor Dr. J. Franz. Mit 31 Abbildungen im Text und auf 2 Doppeltafeln. (Nr. 90.)
Gibt die Ergebnisse der neueren Mondforschung wieder, erörtert die Mondbewegung und Mondbahn, bespricht den Einfluß des Mondes auf die Erde und behandelt die Fragen der Oberflächenbedingungen des Mondes und die charakteristischen Mondgebilde anschaulich zusammengefaßt in „Beobachtungen eines Mondbewohners", endlich die Bewohnbarkeit des Mondes.

Mozart s. Musik.

Münze. Die Münze als historisches Denkmal sowie ihre Bedeutung im Rechts- und Wirtschaftsleben. Von Dr. A. Luschin v. Ebengreuth. Mit 53 Abbildungen im Text. (Nr. 91.)
Zeigt, wie Münzen als geschichtliche Überbleibsel der Vergangenheit zur Aufhellung der wirtschaftlichen Zustände und der Rechtseinrichtungen früherer Zeiten dienen, die verschiedenen Arten von Münzen, ihre äußeren und inneren Merkmale sowie ihre Herstellung werden in historischer Entwicklung dargelegt und im Anschluß daran Münzsammlern beherzigenswerte Winke gegeben.

Digitized by Google

Musik. Einführung in das Wesen der Musik. Von Professor C. R. Hennig. (Nr. 119.)

Die hier gegebene Ästhetik der Tonkunst untersucht das Wesen des Tones als eines Kunstmaterials; sie prüft die Natur der Darstellungsmittel und untersucht die Objekte der Darstellung, indem sie klarlegt, welche Ideen im musikalischen Kunstwerke gemäß der Natur des Tonmateriales und der Darstellungsmittel in idealer Gestaltung zur Darstellung gebracht werden können.

——— Geschichte der Musik. Von Dr. Friedrich Spiro. (Nr. 143.)

Gibt in großen Zügen eine übersichtliche äußerst lebendig gehaltene Darstellung von der Entwicklung der Musik vom Altertum bis zur Gegenwart mit besonderer Berücksichtigung der führenden Persönlichkeiten und der großen Strömungen und unter strenger Ausscheidung alles dessen, was für die Entwicklung der Musik ohne Bedeutung war.

——— Haydn, Mozart, Beethoven. Mit vier Bildnissen auf Tafeln. Von Professor Dr. C. Krebs. (Nr. 92.)

Eine Darstellung des Entwicklungsganges und der Bedeutung eines jeden der drei großen Komponisten für die Musikgeschichte. Sie gibt mit wenigen, aber scharfen Strichen ein Bild der menschlichen Persönlichkeit und des künstlerischen Wesens der drei Heroen mit Hervorhebung dessen, was ein jeder aus seiner Zeit geschöpft und was er aus eignem hinzugebracht hat.

Muttersprache. Entstehung und Entwicklung unserer Muttersprache. Von Professor Dr. Wilhelm Uhl. Mit vielen Abbildungen im Text und auf Tafeln, sowie mit 1 Karte. (Nr. 84.)

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der sprachlich-wissenschaftlich lautphysiologischen wie der philologisch-germanistischen Forschung, die Ursprung und Organ, Bau und Bildung, andererseits die Hauptperioden der Entwicklung unserer Muttersprache zur Darstellung bringt.

Mythologie s. Germanen.

Nahrungsmittel s. Alkoholismus; Chemie; Ernährung; Haushalt; Kaffee.

Nationalökonomie s. Arbeiterschutz; Bevölkerungslehre; Soziale Bewegungen; Frauenbewegung; Schiffahrt; Welthandel; Wirtschaftsleben.

Naturlehre. Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre. Von Professor Dr. Felix Auerbach. 2. Auflage. Mit 79 Figuren im Text. (Nr. 40.)

Eine zusammenhängende, für jeden Gebildeten verständliche Entwicklung der in der modernen Naturlehre eine allgemeine und exakte Rolle spielenden Begriffe Raum und Bewegung, Kraft und Masse und die allgemeinen Eigenschaften der Materie, Arbeit, Energie und Entropie.

Naturwissenschaften s. Abstammungslehre; Ameisen; Astronomie; Befruchtungsvorgang; Chemie; Erde; Haushalt; Licht; Meeresforschung; Mensch; Moleküle; Naturlehre; Obstbau; Pflanzen; Plankton; Religion; Strahlen; Tierleben; Wald; Weltall; Wetter.

Nervensystem. Vom Nervensystem, seinem Bau und seiner Bedeutung für Leib und Seele im gesunden und kranken Zustande. Von Professor Dr. R. Zander. Mit 27 Figuren im Text. (Nr. 48.)

Erörtert die Bedeutung der nervösen Vorgänge für den Körper, die Geistestätigkeit und das Seelenleben und sucht klarzulegen, unter welchen Bedingungen Störungen der nervösen Vorgänge auftreten, wie sie zu beseitigen und zu vermeiden sind.

Digitized by Google

Obstbau. Der Obstbau. Von Dr. Ernst Voges. Mit 13 Abbildungen im Text. (Nr. 107.)

Will über die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen des Obstbaues, sowie seine Naturgeschichte und große volkswirtschaftliche Bedeutung unterrichten. Die Geschichte des Obstbaues, das Leben des Obstbaumes, Obstbaumpflege und Obstbaumschutz, die wissenschaftliche Obstkunde, die Ästhetik des Obstbaues gelangen zur Behandlung.

Optik (s. a. Mikroskop; Stereoskop). Die optischen Instrumente. Von Dr. M. von Rohr. Mit 84 Abbildungen im Text. (Nr. 88.)

Gibt eine elementare Darstellung der optischen Instrumente nach modernen Anschauungen, wobei weder das Ultramikroskop noch die neuen Apparate zur Mikrophotographie mit ultravioletten Licht (Monochromate), weder die Prismen- noch die Zielfernrohre, weder die Projektionsapparate noch die stereoskopischen Entfernungsmesser und der Stereokomparator fehlen.

Ostasien s. Kunst.

Pädagogik (s. a. Bildungswesen; Erziehung; Fröbel; Herbart; Hilfsschulwesen; Jugendfürsorge; Knabenhandarbeit; Mädchenschule; Schulwesen). Allgemeine Pädagogik. Von Professor Dr. Th. Ziegler. 2. Aufl. (Nr. 33.)

Behandelt die großen Fragen der Volkserziehung in praktischer, allgemeinverständlicher Weise und in sittlich-sozialem Geiste. Die Zwecke und Motive der Erziehung, das Erziehungsgeschäft selbst, dessen Organisation werden erörtert, die verschiedenen Schulgattungen dargestellt.

Palästina. Palästina und seine Geschichte. Sechs Vorträge von Professor Dr. H. Freiherr von Soden. 2. Auflage. Mit 2 Karten und 1 Plan von Jerusalem und 6 Ansichten des Heiligen Landes. (Nr. 6.)

Ein Bild, nicht nur des Landes selbst, sondern auch alles dessen, was aus ihm hervor- oder über es hingegangen ist im Laufe der Jahrhunderte — ein wechselvolles, farbenreiches Bild, in dessen Verlauf die Patriarchen Israels und die Kreuzfahrer, David und Christus, die alten Assyrer und die Scharen Mohammeds einander ablösen.

Patentrecht s. Gewerbe.

Pflanzen (s. a. Obstbau; Plankton; Tierleben). Unsere wichtigsten Kulturpflanzen. (Die Getreidegräser.) Sechs Vorträge aus der Pflanzenkunde. Von Professor Dr. K. Giesenhagen. Mit 38 Figuren im Text. 2. Auflage. (Nr. 10.)

Behandelt die Getreidepflanzen und ihren Anbau nach botanischen wie kulturgeschichtlichen Gesichtspunkten, damit zugleich in anschaulichster Form allgemeine botanische Kenntnisse vermittelnd.

——— Vermehrung und Sexualität bei den Pflanzen. Von Privatdozent Dr. Ernst Küster. Mit 38 Abbildungen im Text. (Nr. 112.)

Gibt eine kurze Übersicht über die wichtigsten Formen der vegetativen Vermehrung und beschäftigt sich eingehend mit der Sexualität der Pflanzen, deren überraschend vielfache und mannigfaltige Äußerungen, ihre große Verbreitung im Pflanzenreich und ihre in allen Einzelheiten erkennbare Übereinstimmung mit der Sexualität der Tiere zur Darstellung gelangen.

Philosophie (s. a. Buddha; Herbart; Kant; Menschenleben; Schopenhauer; Weltanschauung; Weltproblem). Die Philosophie der Gegenwart in Deutschland. Eine Charakteristik ihrer Hauptrichtungen. Von Professor Dr. O. Külpe. 3. Auflage. (Nr. 41.)

Schildert die vier Hauptrichtungen der deutschen Philosophie der Gegenwart, den Positivismus, Materialismus, Naturalismus und Idealismus, nicht nur im allgemeinen, sondern auch durch eingehendere Würdigung einzelner typischer Vertreter wie Mach und Dühring, Haeckel, Nietzsche, Fechner, Lotze, v. Hartmann und Wundt.

Digitized by Google

Philosophie. Einführung in die Philosophie. Sechs Vorträge von Professor Raoul Richter. (Nr. 155.)
Bietet eine gemeinverständliche Darstellung der philosophischen Hauptprobleme und der Richtung ihrer Lösung, insbesondere des Erkenntnisproblems und nimmt dabei zu den Standpunkten des Materialismus, Spiritualismus, Theismus und Pantheismus Stellung, um zum Schlusse die religions- und moralphilosophischen Fragen zu beleuchten.

Physik s. Licht; Mikroskop; Moleküle; Naturlehre; Optik; Strahlen.

Plankton. Das Süßwasser-Plankton. Einführung in die freischwebende Organismenwelt unserer Teiche, Flüsse und Seebecken. Von Dr. Otto Zacharias. Mit 49 Abbildungen. (Nr. 156.)
Gibt eine Anleitung zur Kenntnis der interessantesten Planktonorganismen, jener mikroskopisch kleinen und für die Existenz der höheren Lebewesen und für die Naturgeschichte der Gewässer so wichtigen Tiere und Pflanzen. Die wichtigsten Formen werden vorgeführt und die merkwürdigen Lebensverhältnisse und -bedingungen dieser unsichtbaren Welt einfach und doch vielseitig erörtert.

Polarforschung. Die Polarforschung. Geschichte der Entdeckungsreisen zum Nord- und Südpol von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart. Von Professor Dr. Kurt Hassert. Mit 6 Karten auf 2 Tafeln. (Nr. 38.)
Das in der neuen Auflage bis auf die Gegenwart fortgeführte und im einzelnen nicht unerheblich umgestaltete Buch faßt in gedrängtem Überblick die Hauptergebnisse der Nord- und Südpolarforschung zusammen. Nach gemeinverständlicher Erörterung der Ziele arktischer und antarktischer Forschung werden die Polarreisen selbst von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart geschildert unter besonderer Berücksichtigung der topographischen Ergebnisse.

Pompeji, eine hellenistische Stadt in Italien. Von Hofrat Professor Dr. Fr. v. Duhn. Mit 62 Abbildungen. (Nr. 114.)
Sucht, durch zahlreiche Abbildungen unterstützt, an dem besonders greifbaren Beispiel Pompejis die Übertragung der griechischen Kultur und Kunst nach Italien, ihr Werden zur Weltkultur und Weltkunst verständlich zu machen, wobei die Hauptphasen der Entwicklung Pompejis, immer im Hinblick auf die gestaltende Bedeutung, die gerade der Hellenismus für die Ausbildung der Stadt, ihrer Lebens- und Kunstformen gehabt hat, zur Darstellung gelangen.

Post. Das Postwesen, seine Entwickelung und Bedeutung. Von Postrat J. Bruns. (Nr. 165.)
Schildert immer unter besonderer Berücksichtigung der geschichtlichen Entwicklung die Post als Staatsverkehrsanstalt, ihre Organisation und ihren Wirkungskreis, das Tarif- und Gebührenwesen, die Beförderungsmittel, den Betriebsdienst, den Weltpostverein, sowie die deutsche Post im In- und Ausland.

Psychologie s. Mensch; Nervensystem; Seele.

Recht (s. a. Gewerbe). Moderne Rechtsprobleme. Von Professor Josef Kohler. (Nr. 128.)
Behandelt nach einem einleitenden Abschnitte über Rechtsphilosophie die wichtigsten und interessantesten Probleme der modernen Rechtsprüfung, insbesondere die des Strafrechts, des Strafprozesses, des Genossenschaftsrechts, des Zivilprozesses und des Völkerrechtes.

Religion (s. a. Buddha; Christentum; Germanen; Jesuiten; Jesus; Luther). Die Grundzüge der israelitischen Religionsgeschichte. Von Professor Dr. Fr. Giesebrecht. (Nr. 52.)
Schildert, wie Israels Religion entsteht, wie sie die nationale Schale sprengt, um in den Propheten die Ansätze einer Menschheitsreligion auszubilden, wie auch diese neue Religion sich verpuppt in die Formen eines Priesterstaats.

Digitized by Google

Religion. Religion und Naturwissenschaft in Kampf und Frieden. Ein geschichtlicher Rückblick von Dr. A. Pfannkuche. (Nr. 141.)

Will durch geschichtliche Darstellung der Beziehungen beider Gebiete eine vorurteilsfreie Beurteilung des heiß umstrittenen Problems ermöglichen. Ausgehend von der ursprünglichen Einheit von Religion und Naturerkennen in den Naturreligionen schildert der Verfasser das Entstehen der Naturwissenschaft in Griechenland und der Religion in Israel, um dann zu zeigen, wie aus der Verschwisterung beider jene ergreifenden Konflikte erwachsen, die sich besonders an die Namen von Kopernikus und Darwin knüpfen.

——— Die religiösen Strömungen der Gegenwart. Von Superintendent D. A. H. Braasch. (Nr. 66.)

Will die gegenwärtige religiöse Lage nach ihren bedeutsamen Seiten hin darlegen und ihr geschichtliches Verständnis vermitteln; die markanten Persönlichkeiten und Richtungen, die durch wissenschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung gestellten Probleme, wie die Ergebnisse der Forschung, der Ultramontanismus wie die christliche Liebestätigkeit gelangen zur Behandlung.

Rembrandt. Von Professor Dr. Paul Schubring. Mit einem Titelbild und 49 Textabbildungen. (Nr. 158.)

Eine durch zahlreiche Abbildungen unterstützte lebensvolle Schilderung des menschlichen und künstlerischen Entwickelungsganges Rembrandts. Zur Darstellung gelangen so seine persönlichen Schicksale bis 1642, die Frühzeit, die Zeit bis zu Saskias Tode, die Nachtwache, Rembrandts Verhältnis zur Bibel, die Radierungen, Urkundliches über die Zeit nach 1642 die Periode des farbigen Helldunkels, die Gemälde nach der Nachtwache und die Spätzeit. Beigefügt sind die beiden ältesten Biographien Rembrandts.

Rom. Die ständischen und sozialen Kämpfe in der römischen Republik. Von Privatdozent Dr. Leo Bloch. (Nr. 22.)

Behandelt die Sozialgeschichte Roms, soweit sie mit Rücksicht auf die die Gegenwart bewegenden Fragen von allgemeinem Interesse ist. Insbesondere gelangen die durch die Großmachtstellung Roms bedingte Entstehung neuer sozialer Unterschiede, die Herrschaft des Amtsadels und des Kapitals, auf der anderen Seite eines großstädtischen Proletariats zur Darstellung, die ein Ausblick auf die Lösung der Parteikämpfe durch die Monarchie beschließt.

Säugling. Der Säugling, seine Ernährung und seine Pflege. Von Dr. Walther Kaupe. Mit 17 Textabbildungen. (Nr. 154.)

Will der jungen Mutter oder Pflegerin in allen Fragen, mit denen sie sich im Interesse des kleinen Erdenbürgers beschäftigen müssen, den nötigen Rat erteilen. Außer der allgemeinen geistigen und körperlichen Pflege des Kindchens wird besonders die natürliche und künstliche Ernährung behandelt und für alle diese Fälle zugleich praktische Anleitung gegeben.

Schiffahrt. Deutsche Schiffahrt und Schiffahrtspolitik der Gegenwart. Von Professor Dr. K. Thieß. (Nr. 169.)

Verfasser will weiteren Kreisen eine genaue Kenntnis unserer Schiffahrt erschließen, indem er in leicht faßlicher und doch erschöpfender Darstellung einen allgemeinen Überblick über das gesamte deutsche Schiffswesen gibt mit besonderer Berücksichtigung seiner geschichtlichen Entwicklung und seiner großen volkswirtschaftlichen Bedeutung.

Schiller. Von Professor Dr. Th. Ziegler. Mit dem Bildnis Schillers von Kügelgen in Heliogravüre. (Nr. 74.)

Gedacht als eine Einführung in das Verständnis von Schillers Werdegang und Werken, behandelt das Büchlein vor allem die Dramen Schillers und sein Leben, ebenso aber auch einzelne seiner lyrischen Gedichte und die historischen und die philosophischen Studien als ein wichtiges Glied in der Kette seiner Entwicklung.

Digitized by Google

Schopenhauer. Seine Persönlichkeit, seine Lehre, seine Bedeutung. Sechs Vorträge von Oberlehrer H. Richert. Mit dem Bildnis Schopenhauers. (Nr. 81.)
Unterrichtet über Schopenhauer in seinem Werden, seinen Werken und seinem Fortwirken, in seiner historischen Bedingtheit und seiner bleibenden Bedeutung, indem es eine gründliche Einführung in die Schriften Schopenhauers und zugleich einen zusammenfassenden Überblick über das Ganze seines philosophischen Systems gibt.

Schriftwesen. Schrift- und Buchwesen in alter und neuer Zeit. Von Professor Dr. O. Weise. 2. Auflage. Mit 37 Abbildungen. (Nr. 4.)
Verfolgt durch mehr als vier Jahrtausende Schrift-, Brief- und Zeitungswesen, Buchhandel und Bibliotheken.

Schulhygiene. Von Privatdozent Dr. Leo Burgerstein. Mit einem Bildnis und 33 Figuren im Text. (Nr. 96.)
Bietet eine auf den Forschungen und Erfahrungen in den verschiedensten Kulturländern beruhende Darstellung, die ebenso die Hygiene des Unterrichts und Schullebens wie jene des Hauses, die im Zusammenhang mit der Schule stehenden modernen materiellen Wohlfahrtseinrichtungen, endlich die hygienische Unterweisung der Jugend, die Hygiene des Lehrers und die Schularztfrage behandelt.

Schulwesen (s. a. Bildungswesen; Fröbel; Hilfsschulwesen; Mädchenschule; Pädagogik). Geschichte des deutschen Schulwesens. Von Oberrealschuldirektor Dr. K. Knabe. (Nr. 85.)
Stellt die Entwicklung des deutschen Schulwesens in seinen Hauptperioden dar und bringt so Anfänge des deutschen Schulwesens, Scholastik, Humanismus, Reformation, Gegenreformation, neue Bildungsziele, Pietismus, Philanthropismus, Aufklärung, Neuhumanismus, Prinzip der allseitigen Ausbildung vermittels einer Anstalt, Teilung der Arbeit und den nationalen Humanismus der Gegenwart zur Darstellung.

——— Schulkämpfe der Gegenwart. Vorträge zum Kampf um die Volksschule in Preußen, gehalten in der Humboldt-Akademie in Berlin. Von J. Tews. (Nr. 111.)
Knapp und doch umfassend stellt der Verfasser die Probleme dar, um die es sich bei der Reorganisation der Volksschule handelt, deren Stellung zu Staat und Kirche, deren Abhängigkeit von Zeitgeist und Zeitbedürfnissen, deren Wichtigkeit für die Herausgestaltung einer volksfreundlichen Gesamtkultur scharf beleuchtet werden.

——— Volksschule und Lehrerbildung der Vereinigten Staaten in ihren hervortretenden Zügen. Reiseeindrücke. Von Direktor Dr. Franz Kuypers. Mit 48 Abbildungen im Text und einem Titelbild. (Nr. 150.)
Schildert anschaulich das Schulwesen vom Kindergarten bis zur Hochschule, überall das Wesentliche der amerikanischen Erziehungsweise (die stete Erziehung zum Leben, das Wecken des Betätigungstriebes, das Hindrängen auf praktische Verwertung usw.) hervorhebend und unter dem Gesichtspunkte der Beobachtungen an unserer schulentlassenen Jugend in den Fortbildungsschulen zum Vergleich mit der heimischen Unterrichtsweise anregend.

Seekrieg s. Kriegswesen.

Seele s. Mensch.

Sinnesleben s. Mensch.

Soziale Bewegungen (s. a. Arbeiterschutz; Frauenbewegung). Soziale Bewegungen und Theorien bis zur modernen Arbeiterbewegung. Von Professor Dr. G. Maier. 3. Auflage. (Nr. 2.)
In einer geschichtlichen Betrachtung, die mit den altorientalischen Kulturvölkern beginnt, werden an den zwei großen wirtschaftlichen Schriften Platos die Wirtschaft der Griechen,

Digitized by Google

an der Gracchischen Bewegung die der Römer beleuchtet, ferner die Utopie des Thomas Morus, andererseits der Bauernkrieg behandelt, die Bestrebungen Colberts und das Merkantilsystem, die Physiokraten und die ersten wissenschaftlichen Staatswirtschaftslehrer gewürdigt und über die Entstehung des Sozialismus und die Anfänge der neueren Handels-, Zoll- und Verkehrspolitik aufgeklärt.

Spiele s. Mathematik.

Sprache s. Muttersprache; Stimme.

Städtewesen. Die Städte. Geographisch betrachtet. Von Professor Dr. Kurt Hassert. Mit 21 Abbildungen. (Nr. 163.)

Behandelt als Versuch einer allgemeinen Geographie der Städte einen der wichtigsten Abschnitte der Siedlungskunde, erörtert die Ursache des Entstehens, Wachsens und Vergehens der Städte, charakterisiert ihre landwirtschaftliche und Verkehrs-Bedeutung als Grundlage der Großstadtbildung und schildert das Städtebild als geographische Erscheinung.

——— Deutsche Städte und Bürger im Mittelalter. Von Oberlehrer Dr. B. Heil. 2. Auflage. Mit zahlreichen Abbildungen im Text und auf 1 Doppeltafel. (Nr. 43.)

Stellt die geschichtliche Entwicklung dar, schildert die wirtschaftlichen, sozialen und staatsrechtlichen Verhältnisse und gibt ein zusammenfassendes Bild von der äußeren Erscheinung und dem inneren Leben der deutschen Städte.

——— Historische Städtebilder aus Holland und Niederdeutschland. Vorträge gehalten bei der Oberschulbehörde in Hamburg. Von Regierungs-Baumeister Albert Erbe. Mit 59 Abbildungen. (Nr. 117.)

Will dem als Zeichen wachsenden Kunstverständnisses zu begrüßenden Sinn für die Reize der alten malerischen Städtebilder durch eine mit Abbildungen reich unterstützte Schilderung der so eigenartigen und vielfachen Herrlichkeit Alt-Hollands wie Niederdeutschlands, ferner Danzigs, Lübecks, Bremens und Hamburgs nicht nur vom rein künstlerischen, sondern auch vom kulturgeschichtlichen Standpunkt aus entgegenkommen.

——— Kulturbilder aus griechischen Städten. Von Oberlehrer Dr. Erich Ziebarth. Mit 22 Abbildungen im Text und 1 Tafel. (Nr. 131.)

Sucht ein anschauliches Bild zu entwerfen von dem Aussehen einer altgriechischen Stadt und von dem städtischen Leben in ihr, auf Grund der Ausgrabungen und der inschriftlichen Denkmäler; die altgriechischen Bergstädte Thera, Pergamon, Priene, Milet, der Tempel von Didyma werden geschildert. Stadtpläne und Abbildungen suchen die einzelnen Städtebilder zu erläutern.

Stereoskop (s. a. Optik). Das Stereoskop und seine Anwendungen. Von Professor Th. Hartwig. Mit 40 Abbildungen im Text und 19 stereoskopischen Tafeln. (Nr. 135.)

Behandelt die verschiedenen Erscheinungen und praktischen Anwendungen der Stereoskopie, insbesondere die stereoskopischen Himmelsphotographien, die stereoskopische Darstellung mikroskopischer Objekte, das Stereoskop als Meßinstrument und die Bedeutung und Anwendung des Stereokomparators, insbesondere in bezug auf photogrammetrische Messungen. Beigegeben sind 19 stereoskopische Tafeln.

Stimme, die menschliche, und ihre Hygiene. Sieben volkstümliche Vorlesungen. Von Professor Dr. P. Gerber. Mit 20 Abbildungen. (Nr. 136.)

Nach den notwendigsten Erörterungen über das Zustandekommen und über die Natur der Töne wird der Kehlkopf des Menschen, sein Bau, seine Verrichtungen und seine Funktion als musikalisches Instrument behandelt; dann werden die Gesang- und die Sprechstimme, ihre Ausbildung, ihre Fehler und Erkrankungen, sowie deren Verhütung und Behandlung, insbesondere Erkältungskrankheiten, die professionelle Stimmschwäche, der Alkoholeinfluß und die Abhärtung erörtert.

Digitized by Google

Strahlen (s. a. Licht). Sichtbare und unsichtbare Strahlen. Von Professor Dr. R. Börnstein und Professor Dr. W. Marckwald. Mit 82 Abb. (Nr. 64.)

Schildert die verschiedenen Arten der Strahlen, darunter die Kathoden- und Röntgenstrahlen, die Hertzschen Wellen, die Strahlungen der radioaktiven Körper (Uran und Radium) nach ihrer Entstehung und Wirkungsweise, unter Darstellung der charakteristischen Vorgänge der Strahlung.

Süßwasser-Plankton s. Plankton.

Technik (s. a. Automobil; Beleuchtungsarten; Dampf; Eisenbahnen; Eisenhüttenwesen; Elektrotechnik; Funkentelegraphie; Ingenieurtechnik; Metalle; Mikroskop; Post; Rechtsschutz; Stereoskop; Wärmekraftmaschinen). Am sausenden Webstuhl der Zeit. Übersicht über die Wirkungen der Entwicklung der Naturwissenschaften und der Technik auf das gesamte Kulturleben. Von Geh. Regierungsrat Professor Dr. W. Launhardt. 2. Auflage. Mit 16 Abbildungen im Text und auf 5 Tafeln. (Nr. 23.)

Ein geistreicher Rückblick auf die Entwicklung der Naturwissenschaften und der Technik, der die Weltwunder unserer Zeit verdankt werden.

Tee s. Kaffee.

Telegraphie s. Funkentelegraphie.

Theater (s. a. Drama). Das Theater. Sein Wesen, seine Geschichte, seine Meister. Von Professor Dr. K. Borinski. Mit 8 Bildnissen. (Nr. 11.)

Begreift das Drama als ein Selbstgericht des Menschentums und charakterisiert die größten Dramatiker der Weltliteratur bei aller Knappheit liebevoll und geistvoll, wobei es die dramatischen Meister der Völker und Zeiten tunlichst selbst reden läßt.

Theologie s. Bibel; Christentum; Jesus; Palästina; Religion.

Tierleben (s. a. Ameise; Mensch und Tier; Plankton). Die Beziehungen der Tiere zueinander und zur Pflanzenwelt. Von Professor Dr. K. Kraepelin. (Nr. 79.)

Stellt in großen Zügen eine Fülle wechselseitiger Beziehungen der Organismen zueinander dar. Familienleben und Staatenbildung der Tiere, wie die interessanten Beziehungen der Tiere und Pflanzen zueinander werden geschildert.

——— Tierkunde. Eine Einführung in die Zoologie. Von Privatdozent Dr. Kurt Hennings. Mit 34 Abbildungen. (Nr. 142.)

Will die Einheitlichkeit des gesamten Tierreiches zum Ausdruck bringen, Bewegung und Empfindung, Stoffwechsel und Fortpflanzung als die charakterisierenden Eigenschaften aller Tiere darstellen und sodann die Tätigkeit des Tierleibes aus seinem Bau verständlich machen, wobei der Schwerpunkt der Darstellung auf die Lebensweise der Tiere gelegt ist. So werden nach einem Vergleich der drei Naturreiche die Bestandteile des tierischen Körpers behandelt, sodann ein Überblick über die sieben großen Kreise des Tierreiches gegeben, ferner Bewegung und Bewegungsorgane, Aufenthaltsort, Bewußtsein und Empfindung, Nervensystem und Sinnesorgane, Stoffwechsel, Fortpflanzung und Entwicklung erörtert.

——— Zwiegestalt der Geschlechter in der Tierwelt (Dimorphismus). Von Dr. Friedrich Knauer. Mit 37 Abbildungen. (Nr. 148.)

Zeigt, von der ungeschlechtlichen Fortpflanzung zahlreicher niederster Tiere ausgehend, wie sich aus diesem Hermaphroditismus allmählich die Zweigeschlechtigkeit herausgebildet hat und sich bei verschiedenen Tierarten zu auffälligstem geschlechtlichem Dimorphismus entwickelt, an interessanten Fällen solcher Verschiedenheit zwischen Männchen und Weibchen, wobei vielfach die Brutpflege in der Tierwelt und das Verhalten der Männchen zu derselben erörtert wird.

Digitized by Google

Tierleben. Die Tierwelt des Mikroskops (die Urtiere). Von Privatdozent Dr. Richard Goldschmidt. Mit 39 Abbildungen. (Nr. 160.)

Bietet nach dem Grundsatz, daß die Kenntnis des Einfachen grundlegend zum Verständnis des Komplizierten ist, eine einführende Darstellung des Lebens und des Baues der Urtiere, dieses mikroskopisch kleinen, formenreichen, unendlich zahlreichen Geschlechtes der Tierwelt und stellt nicht nur eine anregende und durch Abbildungen instruktive Lektüre dar, sondern vermag namentlich auch zu eigener Beobachtung der wichtigen und interessanten Tatsachen vom Bau und aus dem Leben der Urtiere anzuregen.

——— Lebensbedingungen und Verbreitung der Tiere. Von Professor Dr. Otto Maas. Mit Karten und Abbildungen. (Nr. 139.)

Lehrt das Verhältnis der Tierwelt zur Gesamtheit des Lebens auf der Erde verständnisvoll ahnen, zeigt die Tierwelt als einen Teil des organischen Erdganzen, die Abhängigkeit der Verbreitung des Tieres nicht nur vor dessen Lebensbedingungen, sondern auch von der Erdgeschichte, ferner von Nahrung, Temperatur, Licht, Luft, Feuchtigkeit und Vegetation, wie von dem Eingreifen des Menschen und betrachtet als Ergebnis an der Hand von Karten die geographische Einteilung der Tierwelt auf der Erde nach besonderen Gebieten.

Tuberkulose. Die Tuberkulose, ihr Wesen, ihre Verbreitung, Ursache, Verhütung und Heilung. Für die Gebildeten aller Stände gemeinfaßlich dargestellt von Oberstabsarzt Dr. W. Schumburg. Mit 1 Tafel und 8 Figuren im Text. (Nr. 47.)

Schildert nach einem Überblick über die Verbreitung der Tuberkulose das Wesen derselben, beschäftigt sich eingehend mit dem Tuberkelbazillus, bespricht die Maßnahmen, durch die man ihn von sich fernhalten kann, und erörtert die Fragen der Heilung der Tuberkulose, vor allem die hygienisch-diätetische Behandlung in Sanatorien und Lungenheilstätten.

Turnen s. Leibesübungen.

Verfassung (s. a. Fürstentum). Grundzüge der Verfassung des Deutschen Reiches. Sechs Vorträge von Professor Dr. E. Loening. 2. Aufl. (Nr. 34.)

Beabsichtigt in gemeinverständlicher Sprache in das Verfassungsrecht des Deutschen Reiches einzuführen, soweit dies für jeden Deutschen erforderlich ist, und durch Aufweisung des Zusammenhanges sowie durch geschichtliche Rückblicke und Vergleiche den richtigen Standpunkt für das Verständnis des geltenden Rechtes zu gewinnen.

Verkehrsentwicklung (s. a. Automobil; Eisenbahnen; Funkentelegraphie; Post; Technik). Verkehrsentwicklung in Deutschland. 1800—1900. Vorträge über Deutschlands Eisenbahnen und Binnenwasserstraßen, ihre Entwicklung und Verwaltung, sowie ihre Bedeutung für die heutige Volkswirtschaft von Professor Dr. W. Lotz. 2. Auflage. (Nr. 15.)

Gibt nach einer kurzen Übersicht über die Hauptfortschritte in den Verkehrsmitteln und deren wirtschaftliche Wirkungen eine Geschichte des Eisenbahnwesens, schildert den heutigen Stand der Eisenbahnverfassung, das Güter- und das Personentarifwesen, die Reformversuche und die Reformfrage, ferner die Bedeutung der Binnenwasserstraßen und endlich die Wirkungen der modernen Verkehrsmittel.

Versicherung (s. a. Arbeiterschutz). Grundzüge des Versicherungswesens. Von Professor Dr. A. Manes. (Nr. 105.)

Behandelt sowohl die Stellung der Versicherung im Wirtschaftsleben, die Entwicklung der Versicherung, die Organisation ihrer Unternehmungsformen, den Geschäftsgang eines Versicherungsbetriebs, die Versicherungspolitik, das Versicherungsvertragsrecht und die Versicherungswissenschaft, als die einzelnen Zweige der Versicherung, wie Lebensversicherung, Unfallversicherung, Haftpflichtversicherung, Transportversicherung, Feuerversicherung, Hagelversicherung, Viehversicherung, kleinere Versicherungszweige, Rückversicherung.

Digitized by Google

Volkslied. Das deutsche Volkslied. Über Wesen und Werden des deutschen Volksgesanges. Von Privatdozent Dr. J. W. Bruinier. 2. Auflage. (Nr. 7.)

Handelt in schwungvoller Darstellung vom Wesen und Werden des deutschen Volksgesanges, unterrichtet über die deutsche Volksliederpflege in der Gegenwart, über Wesen und Ursprung des deutschen Volksgesanges, Skop und Spielmann, Geschichte und Mär, Leben und Liebe.

Volksschule s. Schulwesen.

Volksstämme. Die deutschen Volksstämme und Landschaften. Von Professor Dr. O. Weise. 3. Auflage. Mit 29 Abbildungen im Text und auf 15 Tafeln. (Nr. 16.)

Schildert, durch eine gute Auswahl von Städte-, Landschafts- und anderen Bildern unterstützt, die Eigenart der deutschen Gaue und Stämme, die charakteristischen Eigentümlichkeiten der Landschaft, den Einfluß auf das Temperament und die geistige Anlage der Menschen, die Leistungen hervorragender Männer, Sitten und Gebräuche, Sagen und Märchen, Besonderheiten in der Sprache und Hauseinrichtung u. a. m.

Volkswirtschaftslehre s. Amerika; Arbeiterschutz; Bevölkerungslehre; Frauenbewegung; Japan; Soziale Bewegungen; Verkehrsentwicklung; Versicherung; Wirtschaftsgeschichte.

Wald. Der deutsche Wald. Von Professor Dr. Hans Hausrath. Mit 15 Textabbildungen und 2 Karten. (Nr. 153.)

Schildert unter besonderer Berücksichtigung der geschichtlichen Entwicklung die Lebensbedingungen und den Zustand unseres deutschen Waldes, die Verwendung seiner Erzeugnisse, sowie seine günstige Einwirkung auf Klima, Fruchtbarkeit, Sicherheit und Gesundheit des Landes und erörtert zum Schlusse die Pflege des Waldes und die Aufgaben seiner Eigentümer, ein Büchlein also für jeden Waldfreund.

Warenzeichenrecht s. Gewerbe.

Wärme s. Chemie.

Wärmekraftmaschinen (s. a. Dampf). Einführung in die Theorie und den Bau der neueren Wärmekraftmaschinen (Gasmaschinen). Von Professor Dr. Richard Vater. 2. Auflage. Mit 34 Abbildungen. (Nr. 21.)

Will Interesse und Verständnis für die immer wichtiger werdenden Gas-, Petroleum- und Benzinmaschinen erwecken. Nach einem einleitenden Abschnitte folgt eine kurze Besprechung der verschiedenen Betriebsmittel, wie Leuchtgas, Kraftgas usw., der Viertakt- und Zweitaktwirkung, woran sich dann das Wichtigste über die Bauarten der Gas-, Benzin-, Petroleum- und Spiritusmaschinen sowie eine Darstellung des Wärmemotors Patent Diesel anschließt.

——— Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Wärmekraftmaschinen. Von Professor Dr. Richard Vater. Mit 48 Abbildungen. (Nr. 86.)

Ohne den Streit, ob „Lokomobile oder Sauggasmaschine", „Dampfturbine oder Großgasmaschine", entscheiden zu wollen, behandelt Verfasser die einzelnen Maschinengattungen mit Rücksicht auf ihre Vorteile und Nachteile, wobei im zweiten Teil der Versuch unternommen ist, eine möglichst einfache und leichtverständliche Einführung in die Theorie und den Bau der Dampfturbine zu geben.

Wasser s. Chemie.

Digitized by Google

Weltall (s. a. Astronomie). Der Bau des Weltalls. Von Professor Dr. J. Scheiner. 2. Auflage. Mit 24 Figuren im Text und auf einer Tafel. (Nr. 24.)

Stellt nach einer Einführung in die wirklichen Verhältnisse von Raum und Zeit im Weltall dar, wie das Weltall von der Erde aus erscheint, erörtert den inneren Bau des Weltalls, d. h. die Struktur der selbständigen Himmelskörper und schließlich die Frage über die äußere Konstitution der Fixsternwelt.

Weltanschauung (s. a. Kant; Menschenleben; Philosophie; Weltproblem). Die Weltanschauungen der großen Philosophen der Neuzeit. Von Professor Dr. L. Busse. 2. Auflage. (Nr. 56.)

Will mit den bedeutendsten Erscheinungen der neueren Philosophie bekannt machen; die Beschränkung auf die Darstellung der großen klassischen Systeme ermöglicht es, die beherrschenden und charakteristischen Grundgedanken eines jeden scharf herauszuarbeiten und so ein möglichst klares Gesamtbild der in ihm enthaltenen Weltanschauung zu entwerfen.

Weltäther s. Moleküle.

Welthandel. Geschichte des Welthandels. Von Oberlehrer Dr. Max Georg Schmidt. (Nr. 118.)

Eine zusammenfassende Übersicht der Entwickelung des Handels führt von dem Altertum an über das Mittelalter, in dem Konstantinopel, seit den Kreuzzügen Italien und Deutschland den Weltverkehr beherrschen, zur Neuzeit, die mit der Auffindung des Seewegs nach Indien und der Entdeckung Amerikas beginnt und bis zur Gegenwart, in der auch der deutsche Kaufmann nach dem alten Hansawort „Mein Feld ist die Welt" den ganzen Erdball erobert.

Weltproblem (s. a. Philosophie; Weltanschauung). Das Weltproblem von positivistischem Standpunkte aus. Von Privatdozent Dr. J. Petzoldt. (Nr. 133.)

Sucht die Geschichte des Nachdenkens über die Welt als eine sinnvolle Geschichte von Irrtümern psychologisch verständlich zu machen im Dienste der von Schuppe, Mach und Avenarius vertretenen Anschauung, daß es keine Welt an sich, sondern nur eine Welt für uns gibt. Ihre Elemente sind nicht Atome oder sonstige absolute Existenzen, sondern Farben-, Ton-, Druck-, Raum-, Zeit- usw. Empfindungen. Trotzdem aber sind die Dinge nicht bloß subjektiv, nicht bloß Bewußtseinserscheinungen, vielmehr müssen die aus jenen Empfindungen zusammengesetzten Bestandteile unserer Umgebung fortexistierend gedacht werden, auch wenn wir sie nicht mehr wahrnehmen.

Wetter. Wind und Wetter. Fünf Vorträge über die Grundlagen und wichtigeren Aufgaben der Meteorologie. Von Professor Dr. Leonh. Weber. Mit 27 Figuren im Text und 3 Tafeln. (Nr. 55.)

Schildert die historischen Wurzeln der Meteorologie, ihre physikalischen Grundlagen und ihre Bedeutung im gesamten Gebiete des Wissens, erörtert die hauptsächlichsten Aufgaben, die dem ausübenden Meteorologen obliegen, wie die praktische Anwendung in der Wettervorhersage.

Wirtschaftsgeschichte (s. a. Amerika; Eisenbahnen; Geographie; Handwerk; Japan; Rom; Soziale Bewegungen; Verkehrsentwicklung). Die Entwicklung des deutschen Wirtschaftslebens im 19. Jahrhundert. Von Professor Dr. L. Pohle. (Nr. 57.)

Gibt in gedrängter Form einen Überblick über die gewaltige Umwälzung, die die deutsche Volkswirtschaft im letzten Jahrhundert durchgemacht hat: die Umgestaltung der Landwirtschaft; die Lage von Handwerk und Hausindustrie; die Entstehung der Großindustrie mit ihren Begleiterscheinungen; Kartellbewegung und Arbeiterfrage; die Umgestaltung des Verkehrswesens und die Wandlungen auf dem Gebiete des Handels.

Digitized by Google

Wirtschaftsgeschichte. Deutsches Wirtschaftsleben. Auf geographischer Grundlage geschildert von Prof. Dr. Chr. Gruber. Mit 4 Karten. (Nr. 42.)

Beabsichtigt, ein gründliches Verständnis für den stetigen Aufschwung unseres wirtschaftlichen Lebens seit der Wiederaufrichtung des Reichs herbeizuführen und darzulegen, inwieweit sich Produktion und Verkehrsbewegung auf die natürlichen Gelegenheiten, die geographischen Vorzüge unseres Vaterlandes stützen können und in ihnen sicher verankert liegen.

——— **Wirtschaftliche Erdkunde.** Von Professor Dr. Chr. Gruber. (Nr. 122.)

Will die ursprünglichen Zusammenhänge zwischen der natürlichen Ausstattung der einzelnen Länder und der wirtschaftlichen Kraftäußerung ihrer Bewohner klar machen und das Verständnis für die wahre Machtstellung der einzelnen Völker und Staaten eröffnen. Das Weltmeer als Hochstraße des Weltwirtschaftsverkehrs und als Quelle der Völkergröße, — die Landmassen als Schauplatz alles Kulturlebens und der Weltproduktion, — Europa nach seiner wirtschaftsgeographischen Veranlagung und Bedeutung, — die einzelnen Kulturstaaten nach ihrer wirtschaftlichen Entfaltung (viele geistreiche Gegenüberstellungen!): all dies wird in anschaulicher und großzügiger Weise vorgeführt.

Zoologie s. Ameisen; Tierleben.

Übersicht nach den Autoren.

Abel, Chemie in Küche und Haus.
Abelsdorff, Das Auge.
Ahrens, Mathematische Spiele.
Alkoholismus, der, seine Wirkungen und seine Bekämpfung. 3 Bände.
Auerbach, Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre.
Biedermann, Die technische Entwickl. der Eisenbahnen der Gegenwart.
Biernacki, Die moderne Heilwissenschaft.
Blau, Das Automobil.
Bloch, Die ständischen u. sozialen Kämpfe.
Blochmann, Luft, Wasser, Licht u. Wärme. — Grundlagen der Elektrotechnik.
Boehmer, Jesuiten.
Boehmer, Luther im Lichte der neueren Forschungen.
Bongardt, Die Naturwissenschaften im Haushalt. 2 Bändchen.
Bonhoff, Jesus und seine Zeitgenossen.
Borinski, Das Theater.
Börnstein und Marckwald, Sichtbare und unsichtbare Strahlen.
Braasch, Religiöse Strömungen.
Bruinier, Das deutsche Volkslied.
Brüsch, Die Beleuchtungsarten der Gegenwart.
Buchner, 8 Vorträge a. d. Gesundheitslehre.
Burgerstein, Schulhygiene.
Bürkner, Kunstpflege in Haus u. Heimat.
Busse, Weltanschauung d. gr. Philosoph.
Cranz, Arithmetik und Algebra. I.
Daenell, Geschichte der Ver. Staaten von Amerika.
v. Duhn, Pompeji.
Eckstein, Der Kampf zwischen Mensch und Tier.
Erbe, Hist. Städtebilder aus Holland und Niederdeutschland.
Flügel, Herbarts Lehren und Leben.
Franz, Der Mond.
Frech, Aus der Vorzeit der Erde.
Frentzel, Ernähr. u. Volksnahrungsmittel.
Fried, Die moderne Friedensbewegung.
Geffcken, A. d. Werdezeit d. Christentums.
Gerber, Die menschliche Stimme.
Giesebrecht, Die Grundzüge der israelitischen Religionsgeschichte.
Gieseuhagen, Unsere wichtigsten Kulturpflanzen.

Digitized by Google

Aus Natur und Geisteswelt.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

Goldschmidt, Die Tierwelt d. Mikroskops.
Graetz, Licht und Farben.
Graul, Ostasiatische Kunst.
Gruber, Deutsches Wirtschaftsleben.
Gruber, Wirtschaftliche Erdkunde.
Günther, Das Zeitalter der Entdeckungen.
Hahn, Die Eisenbahnen.
v. Hansemann, Der Aberglaube in der Medizin.
Hartwig, Das Stereoskop.
Hassert, Die Polarforschung.
Hassert, Die deutschen Städte.
Haushofer, Bevölkerungslehre.
Hausrath, Der deutsche Wald.
Heigel, Politische Hauptströmungen in Europa im 19. Jahrh.
Heil, D. Städte u. Bürger im Mittelalter.
Heilborn, Die deutschen Kolonien. (Land und Leute.)
Heilborn, Der Mensch.
Hennig, Einführung in das Wesen der Musik.
Hennings, Tierkunde. Eine Einführung in die Zoologie.
Hesse, Abstammungslehre u. Darwinismus.
Hubrich, Deutsches Fürstentum und deutsches Verfassungswesen.
Janson, Meeresforschung u. Meeresleben.
Jlberg, Geisteskrankheiten.
Kaupe, Der Säugling.
Kauffch, Die deutsche Illustration.
Kirchhoff, Mensch und Erde.
Knabe, Geschichte d. deutsch. Schulwesens.
Knauer, Zwiegestalt der Geschlechter in der Tierwelt.
Knauer, Die Ameisen.
Kohler, Moderne Rechtsprobleme.
Kraepelin, Die Beziehungen der Tiere zueinander.
Krebs, Handn, Mozart, Beethoven.
Kreibig, Die fünf Sinne des Menschen.
Külpe, Die Philosophie der Gegenwart.
Külpe, Immanuel Kant.
Küster, Vermehrung und Sexualität bei den Pflanzen.
Kuypers, Volksschule und Lehrerbildung der Ver. Staaten.
Laughlin, Aus dem amerikanischen Wirtschaftsleben.
Launhardt, Am sausenden Webstuhl der Zeit.
Leick, Krankenpflege.
Loening, Grundzüge der Verfassung des Deutschen Reiches.
Loß, Verkehrsentwckig. i. Dtschl. 1800—1900.
Luschin von Ebengreuth, Die Münze.
Maas, Lebensbedingungen der Tiere.
Maier, Soziale Bewegungen u. Theorien.
von Maltzahn, Der Seekrieg.
Manes, Grundzüge d. Versicherungswes.
Maennel, Vom Hilfsschulwesen.
Martin, Die höh. Mädchenschule in Dtschld.
Matthaei, Deutsche Baukunst i. Mittelalt.
Mehlhorn, Wahrheit und Dichtung im Leben Jesu.
Merckel, Bilder aus der Ingenieurtechnik.
Merckel, Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit.
Meringer, Das deutsche Haus und sein Hausrat.
Mie, Molekülle — Atome — Weltäther.
Miehe, Die Erscheinungen des Lebens.
von Negelein, Germ. Mythologie.
Oppenheim, Das astronomische Weltbild im Wandel der Zeit.
Otto, Das deutsche Handwerk.
Otto, Deutsches Frauenleben.
Pabst, Die Knabenhandarbeit.
Paulsen, Das deutsche Bildungswesen.
Petersen, Öffentliche Fürsorge für die hilfsbedürftige Jugend.
Petzoldt, Das Weltproblem.
Pfannkuche, Religion u. Naturwissensch.
Pischel, Leben und Lehre des Buddha.
Pohle, Entwicklung des deutschen Wirtschaftslebens im 19. Jahrhundert.
von Portugall, Friedrich Fröbel.
Pott, Der Text des Neuen Testaments nach seiner geschichtl. Entwicklung.
Ranck, Kulturgeschichte des deutschen Bauernhauses.
Rathgen, Die Japaner.
Rehmke, Die Seele des Menschen.
Reutauf, Die Pflanzenwelt d. Mikroskops.
Richert, Schopenhauer.
Richter, Einführung in die Philosophie.
von Rohr, Optische Instrumente.
Sachs, Bau und Tätigkeit des menschlichen Körpers.
Scheffer, Das Mikroskop.
Scheid, Die Metalle.
Scheiner, Der Bau des Weltalls.
Schirmacher, Die mod. Frauenbewegung.
Schmidt, Gesch. des Welthandels.
Schubring, Rembrandt.
Schumburg, Die Tuberkulose.
Schwemer, Restauration und Revolution.
Schwemer, Die Reaktion u. die neue Ära.
Schwemer, Vom Bund zum Reich.
von Soden, Palästina.
von Sothen, D. Kriegswesen i. 19. Jahrh.
Spiro, Geschichte der Musik.
Stein, Die Anfänge der menschl. Kultur.
Steinhausen, Germanische Kultur in der Urzeit.
Sticher, Eine Gesundheitslehre für Frauen.
Teichmann, Der Befruchtungsvorgang.
Tews, Schulkämpfe der Gegenwart.
Tews, Mod. Erziehung in Haus u. Schule.
Thieß, Deutsche Schiffahrt.

Digitized by Google

Aus Natur und Geisteswelt.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

Thurn, Die Funkentelegraphie.
Volksdorf, Gewerblicher Rechtsschutz in Deutschland.
Uhl, Entsteh. u. Entwickl. uns. Muttersprache.
Unold, Aufgab. u. Ziele d. Menschenlebens.
Vater, Theorie u. Bau der neueren Wärmekraftmaschinen. — Die neueren Fortschritte auf dem Gebiete der Wärmekraftmaschinen. — Dampf u. Dampfmaschine.
Voges, Der Obstbau.
Volbehr, Bau u. Leben d. bildenden Kunst.
Wahrmund, Ehe und Eherecht.
Weber, Wind und Wetter.
Weber, Von Luther zu Bismarck. 2 Bde.
Wedding, Eisenhüttenwesen.
Weinel, Die Gleichnisse Jesu.
Weise, Schrift- und Buchwesen in alter und neuer Zeit.
Weise, Die d. Volksstämme u. Landschaft.
Wieler, Kaffee, Tee, Kakao und die übrigen narkotischen Aufgußgetränke.
Wilbrandt, Die Frauenarbeit.
Wislicenus, Der Kalender.
Witkowski, Das d. Drama d. XIX. Jahrh.
Wultmann, Albrecht Dürer.
Zacharias, Süßwasserplankton.
Zander, Nervensystem. — Leibesübungen.
Ziebarth, Kulturbilder aus griechischen Städten.
Ziegler, Allgem. Pädagogik. — Schiller.
v. Zwiedineck-Südenhorst, Arbeiterschutz und Arbeiterversicherung.

Es werden folgen:

Alt, Physik der Kälte.
Anselmino, Das Wasser.
Arndt, Deutschlands Stellung in der Weltwirtschaft.
Auhagen, Agrarpolitische Zeitfragen.
Backhaus, Die Milch.
Bardeleben, Die menschliche Anatomie.
Barinck, Erforschung und künstliche Herstellung der Stoffe des Pflanzen- und Tierreichs.
Bendix, Geldmarkt.
Bitterauf, Die franz. Revolution.
— Napoleon und seine Zeit.
— Friedrich der Große.
Bock, Zeitmesser.
Böckel, Die deutsche Volkssage.
Börnstein, Wärmelehre.
Brandenburger, Deutschland u. Polen in ihren geschichtlichen Beziehungen.
Braun, Ethik.
Buchgewerbe und die Kultur. (Vorträge von: Focke, Hermelink, Kautzsch, Wäntig, Witkowski und Wuttke.)
Buchka, Geschichte der Chemie.
Buhl, Kultur des Islams.
Claasen, Deutsche Landwirtschaft.
Cohn, Führende Denker.
Cornils, Einführung in das Studium der Theologie.
Dähnhardt, Das Märchen.
Dippe, Die Hygiene des täglichen Lebens.
Doren, Die Hansa und die Entwickelung der deutschen Seemacht.
Eckert, Kolonialpolitik.
Endell, Städtebau.
Feßler, Die neueren Fortschritte der Chirurgie.
Fitzner, Allgemeine Völkerkunde.
Franke, Geschichte des deutschen Gefühls.
Fried, Internationales Leben der Gegenwart.
Friedrich, Die wirtschaftlichen Verhältnisse Asiens.
Fritz, Das moderne Volksbildungswesen.
Gaehde, Das Theater.
Gaupp, Kinderpsychologie.
Gefften, Grundzüge des Völkerrechts.
Gisevius, Die Pflanzen.
Graul, Die Entwickelung der deutschen Malerei im 19. Jahrhundert.
Gutzeit, Die Bakterien.
Haendke, Die deutsche Kunst im täglichen Leben.
Haguenin, Hauptströmungen der französischen Literatur.
v. Halle, Truste und Kartelle.
Heinrici, Recht und Rechtspflege in Deutschland.
Hellwig, Verbrechen und Aberglaube.
Hensel, Rousseau.
Hoffmann, Die europäischen Sprachen.
Jacob, Einleitung in das Studium der Geschichte.
Jaeschke, Dante.
Jhering, Wasserkraftmaschinen.
Jiriczek, Geschichte der engl. Dichtung.
Jitel, Die musikalische Romantik in Deutschland.
— Das Kunstwerk Wagners.
Kahle, Ibsen, Björnson und ihre Zeitgenossen.
Kautzsch, Die Krebskrankheit.
Kirn, Die sittlichen Lebensanschauungen der Gegenwart.
Knabe, Das deutsche Schulwesen der Gegenwart.

Digitized by Google

Aus Natur und Geisteswelt.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

Köhler, Aufklärung.
Krumm, Das Drama.
Kühne, Geschichte der Freiheitskriege.
Kümmel, Photochemie.
Lampert, Welt der Organismen.
Landauer, Talmud.
Landsberg, Biologie.
Langenbeck, Englands Weltmacht.
Lehmann, Mystik.
— Die tierische Form in Beziehung zur Lebensweise der Tiere.
Lehmann-Haupt, Die babylonische Kultur.
— Schliemanns Ausgrabungen.
Lehner, Römische Kultur in Deutschland.
Leser, Börse und Börsengeschäfte.
Louis, Liszt und Berlioz.
Lyon, Einführung in die deutsche Sprach- und Literatur-Forschung.
Maas, Die geistige Entwickelung des Kindes.
Marcuse, Praktische Himmelskunde.
Matthäi, Die deutsche Baukunst vom 15. Jahrhundert bis zur Gegenwart.
May, Gesteinsbildende Tiere.
Mayer, Geschichte des westeuropäischen Beamtentums.
Menzer, Grundzüge der Ästhetik.
Meyer, Der Krieg im Zeitalter des Verkehrs.
— Das Neue Testament.
Meyer, R. M., Neuzeitliche Meister der Weltliteratur.
Mielke, Das deutsche Dorf.
Mollwo, Die deutschen Erwerbsgesellschaften.
Morgenroth, Die Statistik.
Most, Die Boden- und Wohnungsfrage.
Müller, Methoden der Physiologie.
— Die chemische Industrie.
Müller, S., Amerikanische technische Hochschulen.
Natorp, Pestalozzi.
Neurath, Antike Wirtschaftsgeschichte.
Ohr, Staat und Kirche im Mittelalter.
Oppenheim, Die Probleme der neueren Astronomie.
Peter, Die Planeten.
Pinder, Einführung in das Studium der Kunstgeschichte.
Pöschel, Die Luftschiffahrt.
Potonié, Morphologie der Pflanzen.
Rehm, Deutsche Volksfeste und Volkssitten.
Reukauf, Die Pflanzenwelt des Mikroskops.
Richert, Einleitung in das Studium der Philosophie.
Riemann, Geschichte des deutschen Romans.
Rietsch, Die Grundlagen der Tonkunst.
Rosin, Herz, Blutgefäße, Blut und deren Erkrankungen.
Sallwürk, Einleitung in die wissenschaftliche Pädagogik.
Salomon, Die politische und kulturelle Entwickelung Rußlands.
Saenger, Das englische Kulturleben der Gegenwart.
v. Scala, Die Entwickelung des griechischen Volkes.
Scheibe, Die Minerale.
Scheler, Erkenntnislehre.
Schmidt, Bedeutung der Seemacht in der neueren Geschichte.
Schöne, Politische Geographie.
Schulz, Antike Wirtschaft, Technik und Kultur.
Schwarz, Allgemeine Finanzverwaltung.
Sieger, Der moderne Begriff der Nation.
— Shakespeare.
Solmsen, Die russische Literatur des 19. Jahrhunderts.
Spiro, Antikes Leben im Liede.
Steindorf, Kultur des alten Ägyptens.
Steinmann, Die Eiszeit und der urgeschichtliche Mensch.
Stöcker, Die Frau und die moderne Kultur.
Strauß, Mietrecht.
Thieß, Zeitungswesen.
Thumb, Die Völker der Balkanhalbinsel.
Tobler, Kolonialbotanik.
Troeltsch, Einführung in die Arbeiterfrage.
Trömner, Suggestion und Hypnotismus.
Trüper, Die Charakterfehler im Kindes- und Jugendalter.
Überschaer, Die deutsche Zollpolitik.
Unger, Das Buch und seine Herstellung.
Vater, Maschinenkunde.
Verworn, Mechanik des Geisteslebens.
Vischer, Paulus.
Vogt, Deutsches Vogelleben.
Vollers, Weltreligionen.
Walzel, Geschichte der deutschen Romantik.
Weber, Probleme der großindustriellen Entwickelung.
Weinstein, Entstehung der Welt und der Erde.
Wendscher, Goethes Welt- und Lebensanschauung.
Wentscher, Geschichte und Kritik des Materialismus.
Wernicke, Ansteckende Volkskrankheiten.
Wiedenfeld, Verkehrswesen.
— Die Seehafen des Weltverkehrs.
Wobbermin, Wesen und Wahrheit der Religion.
Zur Straßen, Seelenleben der Tiere.

Digitized by Google

Aus deutscher Wissenschaft u. Kunst.

Die Sammlung soll dazu dienen, alle, die bestrebt sind, ihre Bildung zu erweitern, in die Lektüre wissenschaftlicher Werke einzuführen. Aus geisteswissenschaftlichen, naturwissenschaftlichen, religiösen und philosophischen Werken wird eine Auslese getroffen, die geeignet ist, in die wichtigsten Fragen auf den einzelnen Gebieten einzuführen, den Weg zu den Quellen zu weisen und zugleich die Kunstformen der Darstellung in Musterbeispielen zu zeigen. Die Erläuterungen räumen unter Beiseitelassen unnötiger Gelehrsamkeit und auf das knappste Maß beschränkt, nur solche Schwierigkeiten aus dem Wege, die eine unbefangene und rasche Aufnahme der Lektüre verhindern. Zunächst erschienen folgende Bändchen:

Zur Geschichte der deutschen Literatur. Proben literar-historischer Darstellung für Schule und Haus ausgewählt und erläutert von Dr. R. Wessely. geb. M. 1.20.

Inhalt: Vogt, Der Heliand. Uhland, Walther von der Vogelweide. v. Treitschke, Die neue Literatur. Gervinus, Lessing. Heitner, Herder. Bielschowsky, Goethe und Schiller. Bellermann, Schillers Don Carlos. Brahm, Kleists Hermannsschlacht. Scherer, Grillparzer. Mayne, Mörike als Lyriker. Schmidt, Gustav Freytag.

Zur Kunst. Ausgewählte Stücke moderner Prosa zur Kunstbetrachtung und zum Kunstgenuß herausgegeben von Dr. M. Spanier. Mit Einleitung, Anmerkungen und Bilderanhang. geb. M. 1.20.

Inhalt: Avenarius, Kunstgenuß und helfendes Wort. Avenarius, Rethel: Der Tod als Freund. v. Seidlitz, Deutsche Kunst. Springer, Albrecht Dürers Phantasiekunst: Ritter, Tod und Teufel. Hirth, Malerische Auffassungen und Techniken des Mittelalters und der Renaissance. Hirth, Das Natürliche in der Kunst. Lichtwark, Rembrandt: Der blinde Tobias. Lichtwark, Rembrandts Haus. Furtwängler, Medusa. Urlichs, Die Laokoongruppe. Bürkner, Gotische Schmuckformen. Borrmann, Andreas Schlüter. Bayersdorfer, Zur Charakteristik Michelangelos Bayersdorfer, Über Kunst. (Aphorismen.) Wölfflin, Die Teppichkartons Raffaels: Der wunderbare Fischzug. Justi, Velazquez: Die Übergabe von Breda. Schultze-Naumburg, Vom Bauernhaus. Gurlitt, Sachlicher Stil im Gewerbe. Gurlitt, Was will die Hellmalerei? Brinckmann, Meißner Porzellan. Floerke, Etwas über Böcklin. Thoma, Ansprache an die Freunde bei Gelegenheit seines 60. Geburtstages.

Zur Geschichte. Proben von Darstellungen aus der deutschen Geschichte für Schule und Haus ausgewählt und erläutert von Dr. W. Scheel. geb. M. 1.20.

Inhalt: Mommsen, Kelten und Germanen vor Cäsar. Brunner, Kriegswesen und Gefolgschaft. Freytag, Karl der Große. v. Giesebrecht, Gründung des Deutschen Reichs durch Heinrich I. v. Kugler, Der Kreuzzug Kaiser Friedrichs I. v. Below, Die Stadtverwaltung in ihrer Beziehung zu Handel und Gewerbe. Schäfer, Die Hanse. Lamprecht, Entwicklung der ritterlichen Gesellschaft. v. Treitschke, Luther und die deutsche Nation. v. Ranke, Die Epoche der Reformation und der Religionskriege. Schiller, Die Schlacht bei Lützen. Droysen, Fehrbellin. Friederich, Blücher und Gneisenau. v. Moltke, Schlacht bei Vionville — Mars la Tour (16. August). Marcks, Kaiser Wilhelm I. Anhänge.

Zur Erdkunde. Proben erdkundlicher Darstellung für Schule und Haus ausgewählt und erläutert von Dr. F. Lampe. geb. M. 1.20.

Inhalt: v. Humboldt, Über die Wasserfälle des Orinoko bei Atures und Mappures. Ritter, Aus der Einleitung zur „Erdkunde im Verhältnis zur Natur und zur Geschichte des Menschen oder allgemeine vergleichende Geographie". Peschel, Der Zeitraum der großen Entdeckungen. Barth, Reise in Adamaua, Entdeckung des Benué. v. Richthofen, Aus China. v. Drygalski, Die deutsche Südpolarexpedition. Kirchhoff, Das Meer im Leben der Völker. Ratzel, Deutschlands Lage und Raum. Partsch, Das niederrheinische Gebirge, seine Täler und seine Tieflandbucht. v. d. Steinen, Jägertum, Feldbau und Steinzeitkultur der Indianer am Schingu. Geschichtlich-biographische Anmerkungen. Erklärung geologischer Fachausdrücke.

Digitized by Google

Zur Einführung in die Philosophie der Gegenwart.

Acht Vorträge von Prof. Dr. A. Riehl. 2. Auflage. Geheftet ℳ 3.—, in Leinwand gebunden ℳ 3.60.

„Wir gestehen, daß uns selten die Lektüre eines Buches so viel geistigen Genuß bereitet hat, als die des vorliegenden. Der Verfasser hat es meisterhaft verstanden, die vielfach als äußerst langweilig und trocken verschriene Disziplin nicht nur interessant und fesselnd darzustellen, sondern es ist ihm auch gelungen, recht klar und allgemein verständlich zu schreiben, so daß jeder Gebildete getrost nach dem Buche greifen kann." (Leipziger Lehrerzeitung.)

„Von den üblichen Einleitungen in die Philosophie unterscheidet sich Riehls Buch nicht bloß durch die Form der freien Rede, sondern auch durch seine ganze methodische Auffassung und Anlage, die wir nur als eine höchst glückliche bezeichnen können. Nichts von eigenem System, nichts von langatmigen logischen, psychologischen oder gelehrten historischen Entwicklungen, sondern eine lebendig anregende und doch nicht oberflächliche, vielmehr in das Zentrum der Philosophie führende Betrachtungsweise. . . . Wir möchten somit das philosophische Interesse . . . mit Nachdruck auf Riehls Schrift hinweisen. (Monatsschr. f. höh. Schulen.)

Arbeit und Rhythmus. Von Prof. Dr. Karl Bücher.

Dritte, stark vermehrte Auflage. Geheftet ℳ 7.—, in Leinwand gebunden ℳ 8.—

„. . . Die übrige Gemeinde allgemein Gebildeter, welche nicht bloß diese oder jene Einzelheit der in der Bücherschen Arbeit enthaltenen wissenschaftlichen Errungenschaften interessiert, sondern die sich für die Gesamtheit des selbständigen und weitgreifenden Überblicks über den vielverschlungenen Zusammenhang von Arbeit und Rhythmus aufrichtig freuen darf, wird meines Erachtens dem bewährten Forscher auch dafür besonders dankbar sein, daß er ihr einen wertvollen Beitrag zu einer Lehre geliefert hat, welche die edelsten Genüsse in unserm armen Menschenleben vermittelt, nämlich zur Lehre von der denkenden Beobachtung nicht bloß welterschütternder Ereignisse, sondern auch alltäglicher, auf Schritt und Tritt uns begegnender Geschehnisse."
(G. v. Mayr in der Beilage z. Allgem. Ztg.)

Himmelsbild und Weltanschauung im Wandel der Zeiten.

Von Prof. Troels-Lund. Autorisierte Übersetzung von L. Bloch. Zweite Auflage. In Leinwand gebunden ℳ 5.—

„. . . Es ist eine wahre Lust, diesem kundigen und geistreichen Führer auf dem langen, aber nie ermüdenden Wege zu folgen, den er uns durch Asien, Afrika und Europa, durch Altertum und Mittelalter bis herab in die Neuzeit führt. . . . Es ist ein Werk aus einem Guß, in großen Zügen und ohne alle Kleinlichkeit geschrieben. . . . Wir möchten dem schönen, inhaltreichen und anregenden Buche einen recht großen Leserkreis nicht nur unter den zünftigen Gelehrten, sondern auch unter den gebildeten Laien wünschen. Denn es ist nicht nur eine geschichtliche, d. h. der Vergangenheit angehörige Frage, die darin erörtert wird, sondern auch eine solche, die jedem Denkenden auf den Fingern brennt. Und nicht immer wird über solche Dinge so kundig und so frei, so leidenschaftlos und doch mit solcher Wärme gesprochen und geschrieben, wie es hier geschieht. . . ." (W. Nestle in den Neuen Jahrbüchern für das klassische Altertum.)

Das Erlebnis und die Dichtung. Lessing, Goethe, Novalis, Hölderlin.

Vier Aufsätze von Wilhelm Dilthey. Geheftet ℳ 4.80, in Leinwand gebunden ℳ 5.60.

„. . . Dieses tiefe und schöne Buch gewährt einen starken Reiz, Diltheys feinfühlig wägende und leitende Hand das künstlerische Fazit so außerordentlicher Phänomene im unmittelbaren Anschluß an die knappe, großlinige Darstellung ihres Wesens und Lebens ziehen zu sehen. Hier, das fühlt man auf Schritt und Tritt, liegt auch wahrhaft inneres Erlebnis eines Mannes zugrunde, dessen eigene Geistesbeschaffenheit ihn zum nachschöpferischen Eindringen in die Welt unserer Dichter und Denker geradezu bestimmen mußte. . . . Was diesen auf einen Lebenszeitraum von 40 Jahren verteilten — man wendet hier das Wort fast instinktiv an — klassischen Aufsätzen ein ganz besonders edles Gepräge gibt, das ist der goldene Schimmer geistiger Jugendfrische, der sie verklärt, die lautere Verehrung unserer höchsten literarisch-künstlerischen Kulturwerke, der den Ausdruck überall durchzittert. Hier schreibt Ehrfurcht und zwar lebendige Ehrfurcht, die sich den Geistern und ihrem Werk in liebendem Erkenntnisdrange hingibt und weiß, warum sie es tut." (Das literarische Echo.)

Die hellenische Kultur. Dargestellt von Fritz Baumgarten, Franz Poland, Richard Wagner. Mit 7 farbigen Tafeln, 2 Karten und gegen 400 Abbildungen im Text und auf 2 Doppeltafeln. Geheftet *M* 10.—, in Leinwand gebunden *M* 12.—

„Ein Buch, das, ohne mit Gelehrsamkeit zu prahlen, die wissenschaftliche Tüchtigkeit der Verfasser bezeugt. Überall sind auch, bei der Behandlung der Kunst wie der des Schrifttums und der politischen Verhältnisse, die neuesten Funde eingehend berücksichtigt. Die Darstellung ist meist knapp, aber inhaltreich, verständlich und gefällig. Trefflich ist gleich der kurze Abschnitt über Sprache und Religion in der Einleitung. Ganz meisterhaft scheint mir die Behandlung der Kunst. Nirgends bloße Redensarten, selten Urteile, die für den Leser in der Luft schweben, weil ihm die Anschauungen fehlen. Was zu sagen ist, wird meist an gut gewählte Beispiele angeknüpft. Neben der äußerlichen Geschichte der Kunst kommt auch die Stilentwicklung zu vollem Recht. Das staatliche Leben, besonders in Athen, wird in allen seinen Betätigungen anschaulich und doch nicht zu ausführlich vorgeführt. Vergleiche mit späteren Verhältnissen erleichtern oft das Verständnis. Die Schilderung des geistigen Lebens hebt besonders die gewaltigeren Persönlichkeiten hervor, begnügt sich aber nicht mit bloßen Tatsachen und Urteilen, sondern führt, soweit tunlich, auch Proben an oder gibt Inhaltsangaben der überlieferten Werke, die auch dem mit der griechischen Literatur unbekannten Leser ein Verständnis für die Bedeutung dieser Geisteshelden eröffnen." (Lehrproben und Lehrgänge. 1906.)

Das Mittelmeergebiet. Seine geograph. u. kulturelle Eigenart. Mit 9 Figuren im Text, 13 Ansichten und 10 Karten auf 15 Tafeln. Geh. *M* 6.—, in Leinwand geb. *M* 7.—
Von Professor Dr. A. Philippson.

„... Das vorliegende Werk eignet sich vorzüglich, um einem weiten Kreise allgemein Gebildeter eine Vorstellung von dem zu geben, was Geographie heute ist, namentlich aber der stetig wachsenden Zahl der Besucher des Mittelmeergebietes ein tieferes Verständnis für das, was sie sehen, zu erschließen. Jeder sollte sich das Buch als Ergänzung seines Reisehandbuchs mitnehmen, und die Bibliotheken unserer Rundreisedampfer sollten es in mehreren Exemplaren enthalten. . . . Auch dem Historiker, dem Kulturhistoriker, dem Soziologen bringt das Buch bedeutenden Gewinn. . . . Die Bilder sind vorzüglich gewählt und gut ausgeführt, die Karten sehr klare Veranschaulichungen des Textes." (Deutsche Literaturzeitung.)

Die Renaissance in Florenz und Rom. Acht Vorträge von **Prof. Dr. K. Brandi.** 2. Aufl. Geh. *M* 5.—, in Leinwand geb. *M* 6.—

„... Im engsten Raum stellt sich die gewaltigste Zeit dar, mit einer Kraft und Gedrungenheit, Schönheit und Kürze des Ausdrucks, die klassisch ist. Gerade was das größere Publikum erlangen will und soll, kann es daraus gewinnen, ohne doch mit oberflächlichem Halbkennen überladen zu werden. Den tiefer Dringenden gibt das schöne Werk den Genuß einer nochmaligen, kurzen, knappen Zusammenfassung; als habe man lange in einer fernen, großartigen Welt gelebt, ganz von ihrem Sein und Wesen erfüllt, müsse nun Abschied nehmen und sehe sie noch einmal mit einem Schlage vor sich, groß, kühn, farbenreich und nahe und ins Gedächtnis unwandelbar eingegraben, indes man sich wieder der eigenen Zeit zuwendet und weiterwandert." (Die Nation.)

Die Entwicklung des deutschen Städtewesens. Von Hugo Preuß. 1. Band. Entwicklungsgeschichte der deutschen Städteverfassung. Geh. *M* 4.80, in Leinwand geb. *M* 6.—

Das vorliegende Werk stellt sich als erstes die Aufgabe einer zusammenfassenden Betrachtung des deutschen Städtewesens in entwicklungsgeschichtlichem Zusammenhange seiner Organisation und seiner Funktionen. Der erste, geschichtliche Band betrachtet so die deutsche Verfassungsgeschichte, die sonst vom Standpunkte der Entwicklung des Reiches oder der Territorialstaaten aus behandelt wird, unter dem Gesichtspunkte der bürgerlichen Entwicklung mit dem Ergebnis, daß der ungelöste Gegensatz zwischen dem urbanen Verfassungsprinzip der freien Genossenschaft und dem agrarischen Organisationsprinzip des herrschaftlichen Verbandes alle Jahrhunderte der deutschen Entwicklung durchzieht.

So darf auch schon dieser erste Band — ein zweiter wird die Probleme der städtischen Verfassung und Verwaltung untersuchen, die sich aus der neuesten Entwicklung namentlich der großstädtischen Agglomerationen mit unabweislicher Notwendigkeit ergeben — aktuelles Interesse beanspruchen und von keinem ungelesen bleiben, der irgendwie an der Entwicklung unserer inneren Zustände praktisch oder ideell beteiligt ist.

Digitized by Google

TUR DER GEGENWART

TWICKLUNG UND IHRE ZIELE

BEN VON PROFESSOR PAUL HINNEBERG

8. Jeder Teil zerfällt in einzelne inhaltlich voll-schlossene u. einzeln käufliche Bände (Abteilungen).

genwart" soll eine systematisch aufgebaute, geschicht-samtdarstellung unserer heutigen Kultur darbieten, damentalergebnisse der einzelnen Kulturgebiete nach die gesamte Kultur der Gegenwart und für deren in großen Zügen zur Darstellung bringt. Das Werk erster Namen aus allen Gebieten der Wissenschaft tet Darstellungen der einzelnen Gebiete jeweils aus u Berufensten in gemeinverständlicher, künstlerisch ahlter Sprache auf knappstem Raume.

eswissenschaftlichen Kulturgebiete. I. Hälfte. ophie, Literatur, Musik und Kunst mit vorangehender m Gesamtwerk.

Grundlagen der Gegenwart.
Methode der Geisteswissenschaften.
Religionen.
Religion mit Einschluß jüd. Religion.
Geschichte der Philosophie.
Philosophie.
Literaturen.
und lateinische Sprache.

Abt. 9. Die osteuropäischen Literaturen und die slawischen Sprachen.
Abt. 10. Die romanische und englische Literatur und Sprache.
Abt. 11. Die deutsche Literatur und Sprache. Allgemeine Literaturwissenschaft.
Abt. 12. Die Musik.
Abt. 13. Die orientalische Kunst. Die europäische Kunst des Altertums.
Abt. 14. Die europäische Kunst des Mittelalters und der Neuzeit. Allgemeine Kunstwissenschaft.

eswissenschaftlichen Kulturgebiete. 2. Hälfte. schaft, Recht und Wirtschaft.

und Staatenkunde.
Verfassungs- und Verwaltungsgeschichte.
und Gesellschaft des Orients.
Gesellschaft Europas im Altertum und Mittelalter.
und Gesellschaft Europas und Amerikas in der Neuzeit.

Abt. 6. System der Staats- und Gesellschaftswissenschaft.
Abt. 7. Allgemeine Rechtsgeschichte.
Abt. 8. Systematische Rechtswissenschaft.
Abt. 9. Allgemeine Wirtschaftsgeschichte.
Abt. 10. System der Volkswirtschaftslehre.

naturwissenschaftlichen Kulturgebiete. Mathematik, und-organische Naturwissenschaften, Medizin.

technischen Kulturgebiete. Bautechnik, Maschinen-Technik, Landwirtschaftliche Technik, Handels- und

Digitized by Google

B. G. Teubner in Leipzig und

Spezial-Prospekte über die
teilungen
des Herausgebers, der Inhaltsübersich
ren-Verzeichnis und mit Probestüc
Wunsch umsonst u. postfrei vom Ve

n Teil I und II sind erschienen.

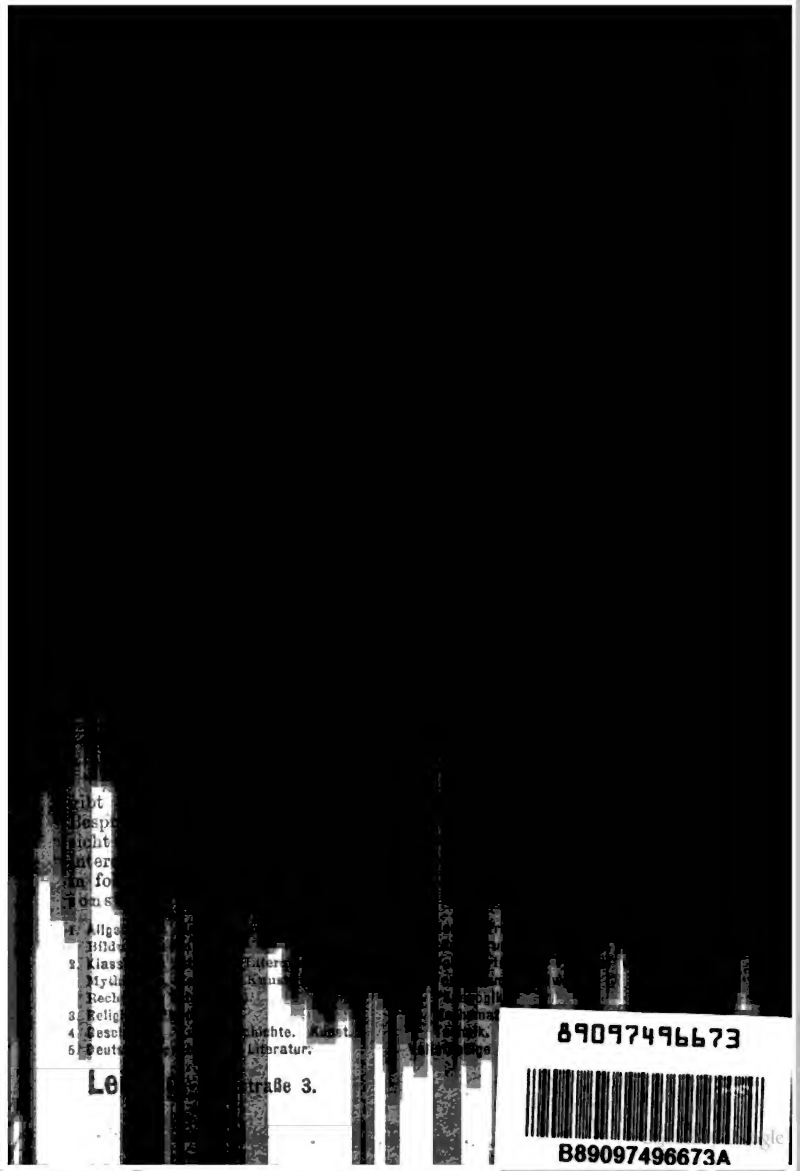
allgemeinen Grundlagen der Kultur
Kultur: W. Lexis. — Das moderne Bildungs
gsmittel: A. Schulen und Hochschulen.
re Knabenschulwesen: A. Matthias.
Das Fach- und Fortbildungsschulwesen: G.
e Hochschulausbildung: Fr. Paulsen.
W. v. Dyck. B. Museen, Kunst- und K
schaftlich-technische Museen: E. Kraepeli
-Ausstellungen: J. Lessing. Naturwissen
t. B. Die Musik: G. Göhler. E. Das Thea
, Bücher: O. Das Buch: R. Pietschm
Die Organisation der Wissenschaft: H. Di
, in Leinwand geb. *M* 18.—

orientalischen Religionen. Inhalt:
r primitiven Völker: Ed. Lehmann. — Die
chen Religionen: Die babylonisch-assyrische
H. Oldenberg. — Die iranische Religion
I. Goldziher. — Der Islamismus: A. G
J. M. de Groot. — Die Religion der Japa
er Buddhismus: H. Haas. (VII u. 260
. *M* 9.—

Teil I, Abt. 4: hristliche Religion mit Einschluß der isr
Religion. Inhalt: israelitisch-jüdische Religion: J. Wellhau
Jesu und die Anfänge des Christentums bis zum Nicaenum (325): A.
und Staat bis zur Gründung der Staatskirche: A. Harnack.
Christentum und Kirche in Mittelalter und Neuzeit: N. Bonwetsch.
Kirche Westeuropas im Mittelalter: K. Müller. — Katholisches Ch
in der Neuzeit: F. X. Funk. Protestantisches Christentum und K
E. Troeltsch — Wesen der Religion und der Religionswissenschaft
Christlich-katholische Dogmatik: J. Pohle. —. Christlich-katholisch
bach. — Christlich-katholische praktische Theologie: C. Krieg.
tische Dogmatik: W. Herrmann. — Christlich-protestantische
Christlich-protestantische praktische Theologie: W. Faber. — Die
Religion und die Religionswissenschaft: H. J. Holtzmann. [XI u.
geh. *M* 16.—, in Leinwand geb. *M* 18.— Auch in 2 Hälften: 1.
lichen Religion. geh. *M* 9.60, geb. *M* 11.— 2. Systematisch-christ
M 6.60, geb. *M* 8.—

Teil I, Abt. 5: Allgemeine Geschichte der Philosophie. Ve
Ch. Baeumker, J. Goldziher, W. Grube, Inouye, H. Olden
band, W. Wundt. [ca. 25 Bogen.] Preis geh. ca. *M* 8.—, in Le

Teil I, Abt. 6: System der Philosophie. Inhalt: Das We
W. Dilthey. — Logik und Erkenntnistheorie: A. Riehl. — Meta
Naturphilosophie: W. Ostwald. — Psychologie: H. Ebbinghau
Geschichte: R. Eucken. — Ethik: Fr. Paulsen. — Pädagogik: W.
Th. Lipps. — Die Zukunftsaufgaben der Philosophie: Fr. Paul
geh. ca. *M* 9.—, in Leinwand geb. ca. *M* 11.—



89097496673

B89097496673A

b89097496673
b89097496673a